

---

# **TIETOMALLINTAMINEN MAANALAISEN RAKENNUSHANKKEEN RAKENNESUUNNITTELUSSA**



Ylemmän ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Rakentamisen koulutusohjelma

Hämeenlinna 12.5.2012

Jarkko Aittoniemi



Ylempi ammattikorkeakoulututkinto  
Rakentamisen koulutusohjelma

---

<b>Tekijä</b>	Jarkko Aittoniemi	<b>Vuosi</b> 2012
<b>Työn nimi</b>	Tietomallintaminen maanalaisen rakennushankkeen rakennesuunnittelussa	

---

## TIIVISTELMÄ

Maan alaiseen suunnittelutyöhön ei ole saatavilla tietomallintamiseen kohdistettuja ohjeistuksia. Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus kehittää ohjeistus maanalaiseen rakennuskohteiden tietomallinnusohje rakennesuunnittelun käyttöön. Lisäksi opinnäytetyössä käsitellään toteutuneesta pilottihankkeesta saatuja tuloksia ja tarkastellaan mallinnuksen taloudellista vaikutusta suunnittelutyöhön tulosten perusteella. Pilottihanke käsittelee tietomallinnettua elementtirakenteista S1-luokan väestösuojaa.

Työssä sovellettava teoria ja perustieto koostuu pääasiassa huhtikuussa 2012 julkaistusta ohjeistuksesta Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Pilottihankkeen osalta perustieto koostuu väestönsuojarakenteisiin liittyvistä valtakunnallisista määräyksistä ja ohjeista. Työmenetelminä on käytetty toteutuneiden kohteiden tarkastelut ja tietomallintamisen soveltuvuutta niissä käytettyihin suunnittelumenetelmiin. Käytettävä aineisto pilottihankkeen osalta koostuu osapuolten haastatteluista ja saavutettujen tulosten ja toimintamenetelmien tarkasteluista.

Tietomallipohjaisesta rakennesuunnittelussa tyypilliset maanalaiset muodot ovat haastavia nykyisille suunnitteluohjelmistoille. Menetelmiä pitää muokata sellaiseen muotoon, että kalliotiloissa tyypilliset epäsymmetriset ja kaarevat muodot saadaan suunniteltua tehokkaasti ja osapuolia hyödynnettäväksi. Tässä opinnäytetyössä esitetty ohjeistus vaatii lisää pilottihankkeita, joiden pohjalta ohjeistus muokkautuu tuotannollisesti toimivaan muotoon. Toteutetun pilottihankkeen kautta saatu tieto edesauttaa elementtitehtaan ja suunnittelunorganisaation välistä toimintaa. Opinnäytetyössä on esitetty, että tietomallipohjaisen suunnittelutyön kautta saadaan konkreettisia taloudellisia hyötyjä.

**Avainsanat** kalliotila, laserskannaus, tietomallinnus, VSS-elementti

**Sivut** 66 s. + liitteet 3 s.



Master's Degree of Applied Science  
Degree Programme in Construction and Environmental Engineering

---

<b>Author</b>	Jarkko Aittoniemi	<b>Year</b> 2012
<b>Subject of Master's thesis</b>	Building information modelling in underground construction project's structure planning	

---

## ABSTRACT

There are no direct instructions available for underground planning work which deal with building information modeling. The aim in this thesis is to develop building information model instructions for underground structural engineering work. Additionally this thesis contains results about actual building information model project. With these results it is possible to analyze the economical effects in building information model based planning work. The project included S1-class shelter manufactured by structural element system.

The basic information and theory in this thesis is based on Yleiset tietomallivaatimukset 2012, which was published April 2012. The basic information for the shelter project consisted of national regulations and instructions which handle the shelters in Finland. The working methods in this thesis are based on the examination of realized projects and the suitability of building information modeling for the methods used. Data for the shelter project is based on interviews of parties, the examination of achieved results and working methods.

The basic shapes commonly used in underground spaces are challenging for the building information model softwares. Therefore the design methods should be developed so that the typical asymmetrical and rounded shapes can be planned more effectively and profitably. The instruction in this thesis requires more pilot projects. Eventually through these projects the instruction will form into profitable and functional working method. The information that was gained from the shelter project developed the operations between the element factory and the design organization. As final conclusion this thesis shows that it is possible to achieve concrete financial results by using building information model.

**Keywords** rockspace, laserscaning, building information model, shelter element

**Pages** 66 p. + appendices 3 p.



## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	3
2	AIEMMAT TUTKIMUKSET JA KEHITYSHANKKEET.....	4
3	MALLINTAMISEN YLEISKUVAUS.....	5
3.1	Tavoitteet tietomallipohjaisessa suunnittelussa.....	5
4	TIETOMALLIN TEOREETTINEN KÄSITTELY HANKEVAIHEITTAIN.....	6
4.1	Tietomallintamisen pääperiaatteet rakennesuunnittelussa.....	6
4.2	Tarveselvitys ja hankesuunnittelu.....	7
4.3	Ehdotussuunnittelu .....	7
4.3.1	Tilamalli.....	8
4.3.2	Rakennuspaikan malli.....	9
4.3.3	Simuloinnit ja havainnollistavat esitykset.....	9
4.4	Yleissuunnittelu.....	11
4.4.1	Rakennesuunnittelu yleissuunnitteluvaiheessa.....	11
4.4.2	Simuloinnit ja elinkaarikustannukset yleissuunnittelussa.....	12
4.5	Toteutussuunnittelu ja rakennusosamalli.....	12
4.5.1	Rakennesuunnittelu toteutussuunnitteluvaiheessa.....	13
4.5.2	LVIS-suunnittelu toteutussuunnitteluvaiheessa.....	14
4.6	Urakkatarjousvaihe.....	15
4.7	Toteutusvaihe ja rakentamisen aikainen suunnittelu.....	16
4.7.1	Urakoitsijalle lisähyödyt tietomallista toteutusvaiheessa.....	17
4.8	Vastaanotto.....	17
4.9	Ohjelmistoja ja projektia koskevat tekniset vaatimukset.....	18
4.10	Tekniset haasteet suunnitteluorganisaatiolle.....	18
4.11	Tietomallintaminen toimialojen välillä.....	19
5	MAANPÄÄLLISEN JA MAANALAISEN TIETOMALLINTAMISEN EROT....	20
5.1	Maanalaisen rakennesuunnittelun erityispiirteitä mallintamisessa.....	20
5.2	Urakkamuodon vaikutus mallintamiseen.....	20
5.2.1	Kokonaishintaurakka.....	20
5.2.2	Yksikköhintaurakka.....	21
5.2.3	Laskutyöurakka.....	21
5.2.4	Tavoitehintaurakka.....	22
5.3	Maanalaisen hankkeen urakkavaiheen vaikutus mallintamiseen.....	22
5.3.1	Louhintaurakkavaiheen haasteet tietomallintamisessa.....	23
5.3.2	Rakennesuunnittelun tietomallintaminen louhintaurakassa.....	24
5.3.3	Runkourakkavaiheen haasteet tietomallintamisessa.....	24
5.3.4	Sisustusurakassa huomioitavat asiat.....	26
6	KALLIOTILOJEN 3D SKANNAUS JA MALLINTAMINEN.....	27
6.1	3D-laserskanauksen mittaustekniikka.....	28
6.2	3D-skannauksen hyödyt.....	29
6.3	3D-skannauksen tietojen vieminen tietomalliin.....	29
7	VÄESTÖNSUOJAN TIETOMALLINTAMINEN.....	31
7.1	Yleistä tietoa väestönsuojista.....	31
7.2	Elementtirakenteinen väestönsuoja.....	31

7.3	Toteutettavan projektin valinta.....	31
7.4	Rakennuskohde Tuusulan Pinja.....	32
7.4.1	Rakennuskohteen yleinen esittely.....	32
7.4.2	Kohteen väestönsuojan esittely.....	32
7.5	Elementtirakenteinen väestönsuoja.....	33
7.5.1	Seinäelementit.....	34
7.5.2	Yläpohjaelementit.....	36
7.5.3	Hätäpoistumistie-elementti.....	37
7.5.4	Elementteihin liittyvät varusteet ja läpivientiosat.....	37
7.6	VSS-kohteen toteutus vaiheittain.....	37
7.6.1	Rakennushankkeen aloitus.....	38
7.6.2	Tilaus.....	38
7.6.3	Suunnittelun aloitus, lähtötiedot ja elementtikaavio.....	38
7.6.4	Elementtien mitoitus.....	39
7.6.5	Tarvittavat piirustukset ja luettelot.....	40
7.6.6	Elementtien valmistus tehtaalla.....	42
7.6.7	Elementin siirto työmaalle.....	45
7.6.8	Elementtien asennustyö.....	46
7.7	Kohteen tietomallintamisen kuvaus.....	46
7.7.1	Päämäärät ja tavoitteet.....	46
7.7.2	Käytettävät ohjelmistot.....	47
7.7.3	Elementtien betoniosuuden mallintaminen.....	48
7.7.4	Elementtien raudoitteiden mallintaminen.....	49
7.7.5	Luetteloiden laadinta.....	51
7.8	Suunnittelutyön taloudellinen tarkastelu.....	53
7.8.1	Suunnitteluosa-alueiden tarkastelu.....	53
7.8.2	Yhteenvedo.....	54
7.9	Tuotannossa havaitut asiat ja kommentit.....	54
7.9.1	Hyötynäkökulmat.....	55
7.9.2	Lopputulos.....	55
7.9.3	Kehitysideat.....	56
8	OHJEISTUS .....	58
8.1	Mallinnettavat rakennusosat.....	58
8.1.1	Seinä- ja pilarirakenteet.....	58
8.1.2	Laatta- ja palkkirakenteet.....	59
8.1.3	Kuilurakenteet.....	60
8.1.4	Raudoitteiden mallinnus.....	60
8.1.5	Kallioprofiilin mallinnus.....	61
8.1.6	Läpiviennit ja reikäsuunnitelmat.....	61
8.2	Toimintatavat ja laadunvarmistus .....	62
8.2.1	Suosittelavat toimintatavat määrälaskennan kannalta.....	63
9	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	64
	LÄHTEET.....	66

---

Liite 1	Yleissuunnitteluvaiheen mallinnettavat rakenneosat
Liite 2	Hankintoja palvelevan suunnitteluvaiheen mallinnettavat rakenneosat
Liite 3	Toteutussuunnitteluvaiheen mallinnettavat rakenneosat



## LYHENNELUETTELO

BIM	Buiding Information Model
FEM	Finite Element Method
IFC	Industry Foundation Classes
RB	Ruiskubetoni
SRMK	Suomen rakentamismääräyskokoelma
TATE	Talotekniikka
VSS	Väestönsuoja
YTV2012	Yleiset tietomallivaatimukset 2012

## MÄÄRITELMÄT

Alkuperäismalli	Mallinnuksessa käytetyn ohjelmiston oma tiedostomuodolla tehty tietomalli. vrt. natiivimalli
IFC-tiedonsiirto	Tiedonsiirtoformaatti. Käytetään yleisesti tietomallissa. Kansainvälinen ja jatkuvasti kehitettävä rakennusalan ISO/PAS 16739 standardi olipohjaisen tiedon siirtoon tietokonejärjestelmästä toiseen.
3D skannaus	Tilojen kolmiulotteinen mittaus.
Suunnittelumalli	Arkkitehti-, rakenne- tai talotekniikkasuunnittelijoiden suunnitelmaratkaisut
Ruiskubetoni	Ruiskutettava betoni. Käytettävät menetelmät: kuiva- ja märkäruiskutus. Käytetään maanalaisessa rakentamisessa mm. kallion pinnan lujittamiseen louhintatöiden jälkeen.
Rusnaus	Kallion tai ruiskubetonin mekaaninen poistaminen räjäytystöiden jälkeen.

Louhintatoleranssi	Kalliopinnan sallittu poikkeama toteutuneessa louhinnassa suunnitelmiin verrattuna.
Natiivimalli	Ohjelman alkuperäisellä tiedostomuodolla tehty tietomalli
Tietomalli	Rakennuksen ja rakennusprosessin koko elinkaaren aikaisten tietojen kokonaisuus digitaalisessa muodossa.
Törmäystarkastelu	Tietomallinnus- tai koordinoitiohjelman ominaisuus, joka automaattisesti laskee törmäyksiä mallin eri rakenteiden välillä.
VSS-elementti	Teräsbetoninen väestönsuojaelementti. Jaetaan seinä- ja kattoelementteihin.



## 1 JOHDANTO

Kalliotiloihin tehtävät massiiviset rakennushankkeet ovat pitkäkestoisia ja sitovat paljon voimavaroja eri toimijoiden välillä. Nykyaikaisiin rakennusprojekteihin kuuluu tietomallintaminen. Tietomallintamisen edut tulevat esille juurikin projekteissa, joiden kesto oletetaan kestävän vuosia ja sitovan henkilöresursseja monesta eri yrityksestä.

Tämä opinnäytetyö rajataan maanalaisten tilojen ja niihin liittyvien maanpäällisten rakenteiden tietomallintamiseen uudiskohteissa. Opinnäytetyö on tarkoitettu erityisesti rakennesuunnittelijoiden tarkasteltavaksi. Tietomallipohjainen suunnitteluprosessi käydään läpi muiden osapuolien kannalta yleisellä tasolla.

Opinnäytetyön aihepiiri on ajankohtainen koska on havaittu, että maanalaisissa rakennushankkeissa tietomallintamisesta saadaan merkittäviä etuja toimijoiden väliseen yhteistyöhön. Toteutuksen kannalta kaikki välineet on osapuolten saatavilla. Toisin kuin maanpäällisessä rakentamisessa, maanalaisessa rakentamisessa ei ole vielä kehittynyt käytännöllisiä ja toimivia toimintajärjestelmiä, jotka huomioivat kalliorakentamisen erityisvaatimukset ja haasteet. Esimerkkinä voidaan mainita eri urakoiden pitkä kesto ja urakoiden limittyminen. Limittymisen seurauksena eri suunnitteluosa-alueiden ajankohta muuttaa tietomallintamisen peruseriaatteita. Perinteisen mallintamisen edellytyksenä on tarkkojen lähtötietojen saaminen, joka limittäytymisen vuoksi ei aina ole mahdollista.

On myös havaittu, ettei olemassa olevia maan alaisten tilojen suunnittelukäytäntöjä voida suoraan soveltaa nykyaikaiseen tietomallintamiseen pohjautuvaan suunnitteluun. Esimerkiksi suunnittelun aikatauluttamista ja osapuolten välistä toimintaa pitää tarkastella uudessa näkökulmassa. Tietoteknisten apuvälineiden kehitys on mahdollistanut kasvavan informaation määrän käsittelyn ja sen välittämisen eri osapuolille myös suunnittelutyössä. Analogisten työkalujen siirtymistä digitaaliseen muotoon on edesauttanut suunnittelutyökalujen käytettävyyttä automatisoidun suunnitteluprosessin kautta. Kehittyneet suunnittelutyökalut ei tietenkään korvaa suunnittelijoiden ammattitaitoa vaan niiden tarkoitus on tehostaa suunnitteluprosesseja ja nopeuttavat päätöksentekoa.

Opinnäytetyö koostuu neljästä osa-alueesta. Perusteoriassa käsitellään yleisesti rakennushankkeen tietomallipohjaista suunnittelutyötä hankkeen eri vaiheissa. Osassa selvitetään maanalaisen hankkeen pääperiaatteita ja hankkeen etenemistä aihealueen kirjallisuuden, asiantuntijahaastatteluiden ja ohjeitten pohjalta.

Toisessa osa-alueessa keskitytään maanalaisen rakennesuunnittelun käytäntöihin ja siihen liittyviin haasteisiin ja mahdollisuuksiin. Osioissa käydään läpi miten eri urakamuodot vaikuttavat tietomallintamiseen. Näkökulman työhön antaa toteutuneiden kohteiden arviointi ja millaisia lisäarvoja tietomallintaminen antaisi näihin suunnitteluprosesseihin.

Kolmannessa osassa käydään läpi toteutuneen tietomallikohteen suunnittelu- ja toteutustyö. Kokonaisuus määritellään tässä opinnäytetyössä pilottihankkeeksi ja sen painoarvo on suurin kaikista neljästä osa-alueesta.

Neljäntenä ja viimeisenä osa-alueena opinnäytetyössä esitellään tiivis ohjeistus maanalaisen rakennesuunnittelun käyttöön. Ohjeistuksessa käytetään hyväksi aiemmissa vaiheissa havaittuja mahdollisuuksia ja kootaan ne osaksi toimivaa ja laadukasta rakennesuunnittelutyötä.

Elementtirakenteiden suunnittelussa tietomallintamisen pääperiaate liittyy vahvasti tuotannollisuuteen. Elementtiteollisuudessa pyritään tehostamaan tuotantoa, jotta tuotteen loppuhinnasta saadaan mahdollisimman kilpailukykyinen kiristyvillä markkinoilla. Suomen rakennushankkeiden kansainvälistyminen asettaa haasteita elementtiteollisuudelle. Paikallavalurakentamisen kustannukset ovat laskeneet kansainvälistymisen myötä. Tämä aiheuttaa elementtiteollisuudelle tuotannon tehostamispaineita.

Suunnittelutyön panos tuotannon tehostamiseen voidaan osaltaan saavuttaa tietomallintamisen kautta. Yleisenä periaatteena voidaan määritellä, että mallintamisessa pyritään siirtämään ylimääräisiä töitä tehtaalta suunnittelukäytäntöihin, jotta tuotannollisuus tehostuu.

## 2 AIEMMAT TUTKIMUKSET JA KEHITYSHANKKEET

Suomessa tietomallintamiseen liittyvää tutkimus- ja kehitystyötä on tehty laajenevassa määrin 2000-luvun alusta lähtien. Yksi varhaisimmista edistyshankkeista oli ProIT – tuotemallitieto rakennusprosessissa. Kehityshankkeessa tarkoituksena oli tietomallintamiseen perustuvan tiedonhallintatavan määrittelyn ja käyttöönoton määrittely. Siinä määriteltiin yhtenäinen mallintamiskäytäntö, jota on sovellettu sitä seuranneissa hankkeissa. Tuoreempi kehityshanke oli nimeltään Digitaalinen tuoteprosessi. Ohjelmassa keskityttiin Suomalaisten yritysten kansainväliseen kilpailukykyyn edistämiseen digitaalisten apuvälineitä hyödyntäen.

Senaatti-kiinteistö valmistamassa julkaisussa Tietomallivaatimukset 2007 Mallipohjaiset tiedot suunnittelu- ja rakentamisprosessin eri vaiheissa käsitellään tietomallin vaatimukia hankkeen suunnitteluvaiheissa ja osapuolien roolia tietomallipohjaisessa hankkeessa. Tästä on tehty päivitetty versio COBIM-hankkeen muodossa. Hankkeeseen osallistui Senaatti-kiinteistöjen lisäksi joukko rakennusalan toimijoita mukaan lukien kiinteistön omistajia, rakennusliikkeitä, rakennuttajia ja ohjelmistotaloja. Uuden julkaisun nimi on Yleiset tietomallivaatimukset 2012 ja se koostuu 14 eri osasta, joissa käydään kattavasti läpi maanpäällisen tietomallipohjaisen rakennushankkeen osa-alueet.

3D laserskannausta on käsitelty kattavasti Aki Liimataisen opinnäytetyössä Rakennusten 3D-mittaus ja pistepilvien prosessointi jatkosuunnittelua varten. Opinnäyte-

työssä käydään läpi 3D -laserkeilaustekniikkaa ja mittaustietojen jatkokäsittelyä eri ohjelmien avulla.

Pohjoismaissa mm. Norjassa ja Tanskassa on tehty tietomalliin liittyviä kehityshankkeita. Vuodesta 2004 Building Smart-hanke on edennyt Norjassa IAI:n vetämänä. Tromssan yliopistossa on testattu IFC-mallin käyttöä HITOS-projektissa. Todellisessa kohteessa on testattu mallipalvelimen käyttöä tietomallipohjaisessa suunnittelussa. Tanskassa mallinnuksen kehitystyön kautta on valmistunut julkaisu Tietomallivaatimukset 2007. Siinä Tanskan keskeiset rakennusalan vaikuttajat ovat kehittäneet mallien ja IFC:n käyttövaatimukset.

Euroopan ulkopuolella on tehty useita kehityshankkeita mm. Australiassa ja Signaporessa, joissa tietomallipohjaista suunnittelua on kehitetty yli vuosikymmenen ajan. Yhdysvaltalaisista kehityshankkeista ovat esimerkiksi General Services Administration (GSA) useisiin pilottihankkeisiin perustuva tietomallintamiseen kehitystyö. Vuonna 2003 alkaneessa hankkeessa tutkittiin mallintamisen mahdollisuuksia ja tarkkuustasoa. Tuloksena tutkimustyölle valmistui mallinnusohje ja sertifiointiprosessin käynnistäminen vuonna 2006. Lisäksi yhdysvalloissa on käynnissä National Building Information Model Standard (NBIMS) -hanke. Siinä pyritään määrittelemään mallinusta koskevia vaatimuksia ja menettelytapoja.

### 3 MALLINTAMISEN YLEISKUVAUS

#### 3.1 Tavoitteet tietomallipohjaisessa suunnittelussa

Tietomallintamisen tavoitteena on suunnittelun laadun parantaminen ja tehokas tiedonsiirto projektin osapuolten kolmiulotteisen tarkastelun avulla. Suunnitteluvirheiden määrä on tarkoitus oleellisesti vähentyä tietomallin kautta. Suunnitelmien keskinäinen vertailu tehostuu selkeillä visuaalisilla tarkasteluilla tietomallin kautta. (YTV2012 osa 1 Yleinen osuus)

Suunnittelutyön laadunvarmistus on oleellinen osa toimivaa tietomallia. Tässä onnistuminen vaatii toimivaa yhteistyötä suunnittelijoiden, projektin johdon, tilaajan ja muiden osapuolten välillä. Vastuuta suunnitelmien toimivuudesta ei kuitenkaan tule siirtää mallin kautta saatavaan laadunvarmistukseen.

Suunnittelun tehostamisen lisäksi tietomallin hyödyt tulevat esille kustannusvertailun ja investointilaskennan kautta. Tietomallia hyödynnetään kustannusvertailussa läpi koko rakennusprosessin alkaen vaihtoehtojen esittämisestä päättyen urakkavaiheen tarjousasiakirjoihin.

Investointipäätöstä varten erilaisia vaihtoehtoja on mahdollista vertailla tietomallin kautta. Vaihtoehtojen selkeät visualisoinnit antavat apukeinoja päätösten tekoon. Tietomalli antaa kaikille osapuolille tarkastelumahdollisuuden vaihtoehtojen toiminnalli-

suuteen ja laajuuteen.

Kohteen vaihtoehtoisten ehdotusten energiankulutusta on mahdollista simuloida tietomallin kautta. Simulointien kautta voidaan vertailla vaihtoehtoja ja hyödyntää päätöksenteossa saatuja tuloksia.

Kohteen urakkalaskentavaiheessa osapuolten on mahdollista tuottaa tarkempia määrälaskelmia kohteista ja halutessaan tehostaa laskentaan käytettävää aikaa. Määrien ja kustannusten arviointia hyödynnetään erityisesti silloin, kun kohteen rakennusosista on valmiina tietoja tuotteen toimittajalla tietomallin käytettäväksi.

Rakennushankkeen toteutusvaiheessa on mahdollista tarkkailla toteutunutta ja teoreettista mallia määrien ja tilavuuksien entistä tarkemmin. Tämä on oleellinen osa kalliorakentamisessa kustannustarkkailun osalta. Myös aikataulutarkastelu ja -suunnittelu ja niiden tarkastelu on mahdollista tietomallin kautta.

## 4 TIETOMALLIN TEOREETTINEN KÄSITTELY HANKEVAIHEITTAIN

Projektin ja mallien vaiheistus voidaan määritellä monella tavalla. Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan Senaatti-kiinteistön ohjeistuksessa ja YTV2012 esitettyjä vaiheistumalleja. Nämä ohjeet perustuvat maanpäälliseen rakentamiseen ja niissä esiintyviin vaiheistuksiin. Lisäksi opinnäytetyössä tarkastellaan maanalaisten kalliotilojen erityispiirteitä ja niiden vaikutusta maanpäällisiin ohjeistuksiin tietomallin kannalta.

Laadukkaan rakennussuunnittelun perusedellytys on osapuolten sujuva yhteistyö. Tämä edellytys korostuu tietomallipohjaisessa suunnittelutyössä, jossa osapuolet ja suunnittelutoimialat toimivat selkeässä rytmissä hankkeiden eri vaiheissa.

### 4.1 Tietomallintamisen pääperiaatteet rakennesuunnittelussa

Rakennesuunnittelun osalta tietomallintamisessa on mahdollista tuottaa analyysi- ja suunnittelumalli. Senaattikiinteistön ohjeistuksen mukaisesti rakennesuunnittelijan suunnittelumallia kutsutaan rakennemalliksi. Sen vaihekohtaisia malleja ovat tarveselvitysvaiheen tilavarausmalli, ehdotussuunnitteluvaiheen alustava rakennusosamalli, toteutusvaiheen rakennusosamalli ja vastaanottovaiheen toteumamalli. (YTV2012 osa 1 Yleinen osuus)

Rakennemalli käsittää toteutettavan suunniteltavan rakennuksen kantavat puu- ja teräsrakenteet sekä kaikki betonirakenteet. Rakennusosien termistöä ja mallintamistarkkuutta ja tietojen esittämistapaa käsitellään tarkasti osassa 8. (YTV2012 osa 5 Rakennesuunnittelu)

## 4.2 Tarveselvitys ja hankesuunnittelu

Rakennushankkeen alussa kartoitetaan kiinteistön omistajan, kiinteistön tulevien käyttäjien ja mahdollisten vuokralaisten tarpeet, tavoitteet ja edellytykset. Tätä vaihetta nimitetään tarveselvitysvaiheeksi ja sen perusteella selvitetään mahdolliset vaihtoehdot, hankkeen toimintamallit sekä kustannusvaikutukset. Vaiheen perusteella tehdään hankesuunnittelupäätös ja se toimii lähtökohtana hankesuunnittelulle. Rakennuksen tietomallia ei suoranaisesti tarvita vielä tarveselvitysvaiheessa, mutta tarveselvityksen kautta muodostetaan tietomallintamiselle tarvittavia lähtötietoja. (Vakkilainen 2009)

Tarveselvitysvaiheen vaatimusmallilla tarkoitetaan sähköisessä muodossa olevia tietoja kohteen tilavaatimuksista. Varsinaisia geometrisia muotoja ei vaatimusmallissa esitetä. Vaatimusmallissa esitetään tilavaatimukset yksinkertaisimmillaan taulukkomuodossa. (YTV2012 osa 1 Yleinen osuus)

Yleisesti esitettynä tarveselvitysvaiheessa rakennushankkeelle määritellään aikataulutavoitteet sekä pinta-ala- ja tilavuusvaatimukset. Näiden perusteella saadaan määriteltyä hankkeen budjettitavoitteet. Saatujen tietojen perusteella voidaan valita esimerkiksi kohteen tontti. Kalliorakennesuunnittelussa tarvesuunnitteluvaiheessa pyritään luomaan kuvaa alueen rakennettavuudesta esimerkiksi tarkasteltavan alueen vesitiiveysvaatimusten perusteella. (Jääskeläinen 2007)

Määriteltyjen tietojen perusteella voidaan koota vaatimukset hankesuunnittelun aloittamista varten. Tiedot tulee kirjata jo tässä vaiheessa mahdollisimman kattavasti sähköiseen muotoon, jotta tarvittava informaation siirto tietomalliin sujuu tehokkaasti. Selkeä informaatio tietomallin käytettäväksi tässä vaiheessa on esimerkiksi alustavat aikataulutavoitteet.

Hankesuunnittelua osaltaan ohjaavat erilaiset viranomaisohjeistukset, vaatimukset ja määräykset. Ne muodostavat hankkeelle viitekehykset. Näiden keskeisten tietojen vieminen tietomalliin olisi suotavaa tässä vaiheessa suunnittelutyötä. Suunnitelmien tarkastaminen ja vaihtoehtojen vertailu viranomaisvaatimusten kannalta helpottuisi ja nopeuttaisi päätöksen tekoa. Tällä hetkellä vaatimusten ja määräysten vieminen ei ole vielä mahdollista tietomalleihin Suomessa. (Vakkilainen 2009)

Hankesuunnitteluvaiheessa kaavaselvitysten lisäksi suoritetaan vaihtoehtojen ja aikataulujen syvempi tutkiminen. Yhdessä halutun laatutason kanssa hankkeen kustannustaso tarkentuu. Näiden tietojen pohjalta tehdään investointipäätös, joka toimii perusteena varsinaisen rakennussuunnittelun aloittamiselle.

## 4.3 Ehdotussuunnittelu

Valittujen vaihtoehtojen perusteella haetaan toimivin perusratkaisu. Hanketta viedään eteenpäin tilaajan ohjaamana. Periaatteessa tietomallin tarkkuustasolla ei ole ylärajaa,

mutta ehdotussuunnitteluvaiheessa tarkkuustaso tulee olla selkeä ja havainnollistava. Esimerkiksi pieniä kaltevuuksia tai rakenneosia ei tässä vaiheessa tule esittää.

Tilaaja voi halutessaan käyttää erillistä rakennuttajakonsulttia suunnittelun ohjaamiseen ja tulevien käyttäjien tilatarpeiden kartoittamiseen. Suomessa laajan kokemuksen omaavien rakennuttajakonsulttien käyttö maanalaisissa rakennushankkeissa on yleistä.

Toteutettavan hankkeen osalta radikaalien muutosten tekeminen on vielä mahdollista pienin kustannuksin. Vaihtoehtojen perusteellinen vertailu ja ongelmakohtien löytäminen hankkeen aikaisessa vaiheessa on kokonaiskustannusten kannalta tärkeää. Erilaisien kolmiulotteisten visualisointien kautta ongelmat löytyvät selkeämmin ja nopeuttavat päätöksentekoa. Jos ongelmakohdat havaitaan hankkeen myöhemmissä vaiheissa niin, sitä vaikeampaa on löytää toimivia ratkaisuja ilman että suunnittelukustannukset kasvavat huomattavasti. Lisäksi havainnollistavat mallit tuovat myös rakennuksen konkreettiselle tasolle kaikille osapuolille. Tässä vaiheessa kustannusten tarkastelun lisäksi tarkasteluun tulee sisällyttää elinkaarikustannukset ja ympäristövaikutukset.

Ehdotussuunnitteluvaiheessa käydään läpi toteutettavan kohteen vaihtoehtoisia suunnitelmia. Arkkitehti mallintaa kohteen yleisesti tilaobjekteilla, joissa on esitetty rakenteiden massoittelu ja ulkovaippa. Tarkkuustaso tulee olla sitä luokkaa, että muut suunnittelutoimialat pääsevät tekemään selkeitä ehdotuksia osapuolten käyttöön. Ehdotussuunnitteluvaiheessa mallista voidaan määritellä myös kokonaistilavuudet, pinta-alat sekä rakennetyypit. (YTV2012 osa 1 Yleinen osuus)

Kohteen lopullisesta käyttötarkoituksesta riippuen määritellään muiden suunnittelutoimialojen mukaantulo mallin suunnittelussa. Esimerkkinä maanalainen tila, jonka käyttötarkoitus on mittavien sähköteknisien laitteiden suojatila. Tällöin on mallin tekemiseen jo tässä vaiheessa kytkettävä tiukasti kiinni sähkösuunnittelun näkökulmat. Muiden suunnittelualojen mukaantulo mallin suunnittelutyöhön sovitaan projektikohtaisesti, mutta yleisesti arkkitehti käy dialogia erikoissuunnittelijoiden kanssa tarvittavien tilojen ja rakennustyyppien osalta. Maanalaisissa tiloissa erityisesti kalliorakennesuunnittelu ohjeistaa arkkitehtisuunnittelua ratkaisujen toteutuskelpoisuudessa.

Mallintamisen kautta määriteltyjen tilojen ja pinta-alojen perusteella vaihtoehtoista tehdään tilapohjaiset kustannusarviot. Investointikustannuksia vertaillaan vaihtoehtojen välillä. (YTV2012 osa 1 Yleinen osuus)

### 4.3.1 Tilamalli

Ehdotussuunnitteluvaiheessa tehdään rakennuksen tilamalli, jonka arkkitehti tekee suunnitteluratkaisujen perusteella. Muiden alojen suunnittelija ja hankkeeseen liitetyt osapuolet käyttävät tilamallia lähtökohtana omalle suunnittelutyölle ja mahdollisille mallinnustöille. (YTV2012 osa 1. Yleinen osuus)

Rakennesuunnittelija laatii tässä vaiheessa alustavan rakennusosamallin tilamallin perusteella. Siinä käsitellään tyyppirakenteita koko rakennuksen laajuudelta. Tässä vaiheessa rakennesuunnittelija toimii kalliotiloja käsittelevässä hankkeessa yhteistyössä erityisesti pohja- ja kalliorakennesuunnittelijoiden kanssa.

Maanalaiset kalliotiloihin kohdistuvat rakennushankkeet eivät tässä vaiheessa suunnittelutyötä poikkea juurikaan tavanomaisesta maanpäällisestä suunnittelukäytännöstä. Poikkeuksena voidaan mainita, että maanalaiset tilat sijaitsevat usein tiheään asutuissa kaupunkien keskustoissa. Tämän takia maanpäällisten tonttien omistajien kanssa käydään neuvotteluita ja haetaan vaihtoehtoisia ratkaisuja kattavasti.

### 4.3.2 Rakennuspaikan malli

Lähtötietoina rakennuksen mallintamiseen tarvitaan tontin malli ja olemassa olevien rakennusten tiedot. Tontin lähtötiedot saadaan kunnan perusrekisteristä sähköisessä muodossa, joka muokataan tarvittaessa tietomallissa hyödynnettävään muotoon. Esimerkiksi Espoon kaupunki toimittaa tarvittaessa tontin tonttitiedot dwg-muodossa jatkokäsittelyä varten. Tontin lähtötietoina voidaan pitää maanpinnan korkeusasemien tietoja ja tontin sitomista oikeaan koordinaatistoon. Perusrekisterissä on esitetty myös olemassa olevien rakennusten sijainnit vallitsevassa koordinaatistossa. Olemassa olevien rakennusten mallintamisen tarkkuustaso tulee määritellä projektikohtaisesti. Perusrekisterin lisäksi olemassa olevat rakennukset voidaan määritellä sähköisten mittauksen perusteella tai vanhojen dokumenttien perusteella.

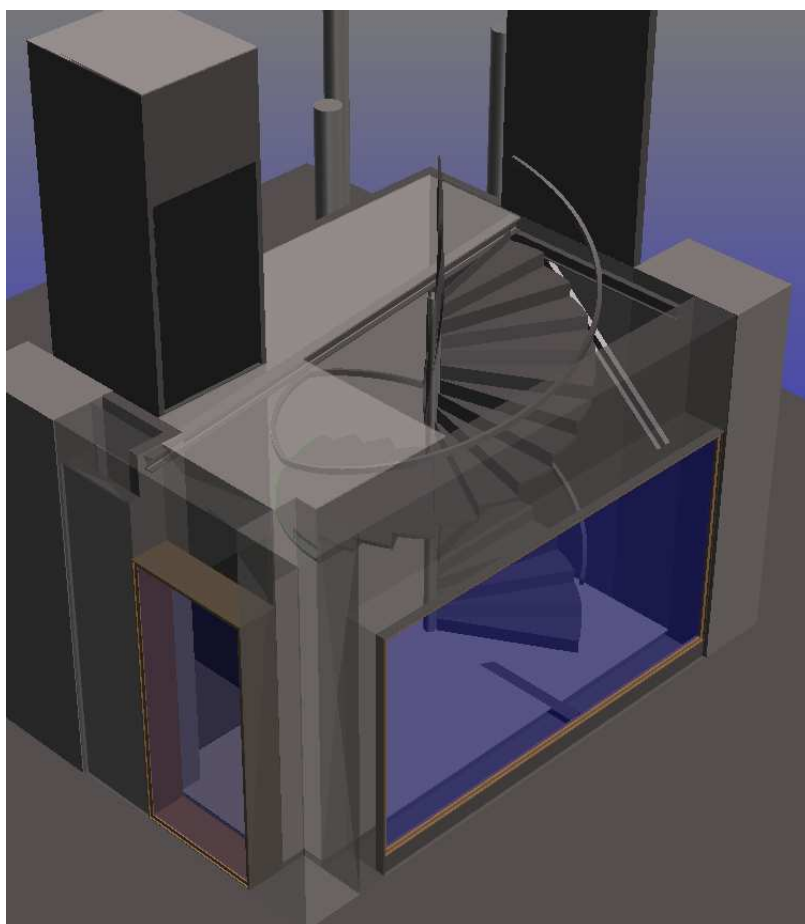
Maanalaisessa rakentamisessa pintamallit ovat tärkeässä roolissa. Puhkaisureitit, kuten ajorampit ja kuilurakenteet, määrittyvät pitkälti tontin pintatietojen perusteella. Kaupunkiympäristössä kuilun yläpää sijoittuu monessa tapauksessa olemassa olevan rakennuksen sisään. Monesti rakennuksen ikä saattaa olla yli sata vuotta, jolloin vanhoja suunnitelmia ei yleensä ole saatavilla sähköisessä muodossa. Myös olemassa olevat suunnitelmat ja dokumentit voivat olla ristiriidassa keskenään. Tällaisissa tapauksissa sähköiset mittaukset ovat tehokkain tapa määritellä olemassa olevat liittyvät rakenteet. Mittaukset on hyvä tehdä projektin aikaisessa vaiheessa, jotta niistä ei muodostu suunnittelun pullokaula projektin edetessä. Sähköiset mittaukset ovat suuressa roolissa myös toteutuneen ja teoreettisen louhintatietojen vertailussa. Tätä asiaa tarkastellaan kohdassa 6.

### 4.3.3 Simuloinnit ja havainnollistavat esitykset

Tässä vaiheessa projektia voidaan myös suorittaa alustavia energiasimulointeja ja laskea alustavia elinkaarikustannuksia. Maanalaisissa tiloissa energiakustannukset eivät kuitenkaan näyttele niin suurta roolia kuin maanpäällisessä rakentamisessa. Tämä johtuu pitkälti kalliotilojen stabiileista ympäristöolosuhteista. Sen sijaan elinkaarikustannukset tulee huomioida myös tietomalleja käytettäessä. Yleisesti kalliotilojen suunnit-

teltu käyttöikä on sata vuotta, joten elinkaarikustannusten arviointi on keskeinen asia investointipäätöksiä tehtäessä. Tällä hetkellä tietomalliohjelmistot eivät tarjoa tarkkoja työkaluja elinkaarikustannusten arviointiin, mutta niistä saadaan tarvittavia lähtötietoja sähköisessä muodossa ulkopuolisen ohjelmiston käytettäväksi.

Havainnollistavien suunnitelmien tuottaminen rakennushankkeen tilaajaosapuolelle ja tilojen käyttäjille muodostuu suunnittelutyön suureksi osa-alueeksi. Näiden kautta osapuolille muodostuu yhtenäinen käsitys toteutettavasta kohteesta. Kuvassa 1 on esitetty havainnollistavan kuva kohteen teknisesti haastavasta kohdasta. Sen tarkoitus on selventää osapuolille tilan käyttötarkoitusta. Ehdotussuunnitteluvaiheessa käytetään karkeiden massamallien käyttöä. Maanalaisissa tiloissa unohdetaan usein kuinka suurta roolia ilmanvaihtojärjestelmät esittävät tilojen ulkonäössä. Tässä vaiheessa suunnittelutyötä ilmanvaihtokanavien ja -koneiden esittäminen havainnollistavissa suunnitelmissa on suotavaa. Karkea esitys IV-järjestelmistä antaa osapuolille mahdollisuuden reagoida ulkonäköön liittyvissä päätöksissä jo ehdotussuunnitteluvaiheessa. Tällöin mallissa tulee esitettyä konkreettisesti myös massiivisten IV-järjestelmien tilatarve.



Kuva 1. Havainnollistava kuva kierreportaaseen liittyvistä rakenteista.



#### 4.4 Yleissuunnittelu

Valituksi tulleen perusratkaisun pohjalta kehitetään tietomalli arkkitehdin toimesta. Tässä ratkaisussa on huomioitu tilaajan määrittelemät vaatimukset ja hanketta koskevat määräykset ja ohjeet. Luonnossuunnitteluvaiheessa muut suunnittelualat aloittavat konkreettisesti suunnittelutyön ja mahdollisesti myös mallinnustyön. Suunnittelutyö etenee pääsuunnittelijan ja rakennuttajan ohjaamana yhteistyössä suunnittelutoimialojen välillä. Luonnossuunnittelussa osapuolet varautuvat myös mahdollisiin tilojen pinta-aloihin ja toiminnallisuuteen vaikuttavat muutoksiin. (YTV2012 osa 1 Yleinen osuus)

Tilaajan tehtävä on hyväksyä suunnitelmat rakennushankkeen toteutusvaihetta varten. Tietomallit tukevat tilaajan päätöksen tekoa visualisointien, simulointien ja kustannusmääritelmien kautta. Toimialojen välillä törmäystarkastelu voidaan suorittaa tässä vaiheessa tarkennettujen suunnitelmien myötä. Tällä tavoin on mahdollista tarkastaa järjestelmien ja rakenteiden yhteensopivuus. Samalla voidaan tarkastaa onko arkkitehtisuunnitelmissa rakenteiden ja tekniikkajärjestelmien vaatimat tilavaraukset huomioitu.

Valittu suunnitelmavaihtoehto kehitetään alustavaksi rakennusosamalliksi pääsuunnittelijan tai arkkitehdin toimesta. Tässä mallissa tulee sisältää luonnosvaiheen tilojen lisäksi rakennusosien perustiedot. Näihin kuuluvat kantavat rakenteet, kuten pilarit, palkit ja laatat. Seinien osalta päätyypit tulee olla selvillä. Päätyypeiksi voidaan määritellä ulkoseinät sekä kevyet ja kantavat seinät. Rakennusosamallissa tulee myös esittää ikkunat ja ovet. Tässä vaiheessa kuitenkin tulee välttää liiallista tarkkuutta ajallisesti tehokkaan suunnittelutyön ehdoilla. Tämä edellyttää teknisten suunnitelmien mallintamisen karkeaa tarkkuutta.

Rakennejärjestelmä, kantavien rakenteiden dimensiot ja rakenteiden vaatimukset varmistetaan tässä vaiheessa niin kalliorakennesuunnittelijan kuin rakennesuunnittelijan vastualueiden osalta. LVIS-suunnittelijat määrittelevät talotekniikan vaatimat tilavaraukset. Kalliotiloissa IV-kanavien tilavaraukset tulee tehdä huolella. Kanavien vaatimat tilavarausmuutokset myöhäisemmissä vaiheissa aiheuttavat merkittäviä lisäkustannuksia ja aikataulumuutoksia myös muissa suunnittelualoissa IV-suunnittelun lisäksi. Muiden suunnittelualojen mallien tuottaminen riippuu paljon lopullisen tilan käyttötavasta. Jos rakennuksen käyttö edellyttää sähkötekniikan suurta määrää, on sähkösuunnitelmien mallinnus hyvä aloittaa ajoissa.

##### 4.4.1 Rakennesuunnittelu yleissuunnitteluvaiheessa

Rakennesuunnittelijan toimesta tehdään rakennesuunnittelun alustava rakennusosamalli. Tässä mallissa on huomioitu kantavien rakenteiden sijainti ja tasojen korkotiedot. Myös muiden suunnittelutoimialojen tilavaraukset on huomioitu. Alustava rakennusosamalli toimii osaltaan lähtötietona muille suunnittelijoille ja siitä voidaan tarvittaessa tehdä alustavia aikataulusimulointeja. Mallin tarkkuustaso ja yksilöidyt suunnit-

nittelulähtökohdat rakennusosittain käydään läpi osassa 8.

Edellä esitettyjen tietojen perusteella mallista tässä vaiheessa on mahdollista tehdä tilapohjainen kustannusarvio osapuolten käyttöön. Tilaluokkien, mallista saatavien pinta-alojen ja tilavuuksien kautta saadaan määrätietoja. Tähän voidaan lisätä muiden suunnittelualojen malleista saatavia rakennusosaluetteloita. Mallista saatavia määrätietoja käytetään kustannuslaskennassa joko ohjelmistojen sisäisten ominaisuuksien kautta tai ulkopuolisten ohjelmien käytettäväksi. Projektissa kustannuslaskenta sisällytetään projektikonsultin tehtäviin tai teetetään erillisenä konsulttityönä.

### 4.4.2 Simuloinnit ja elinkaarikustannukset yleissuunnittelussa

Yleissuunnitteluvaiheessa mahdollisten energiankulutusanalyysien ja elinkaarikustannusten arviointia voidaan tarkentaa päivitettyjen suunnitelmien mukaisesti. Maan alaisten tilojen merkittävä hyöty tulee vakaitten ympäristöolosuhteiden vuoksi. Tällöin myös huolto- ja ylläpitokustannukset ovat merkittävästi pienempiä kuin vastaavassa maan päällisessä rakentamisessa. Yleissuunnitteluvaiheen tietomallin käyttö elinkaarikustannuksessa tulee huomioida ohjelmistojen määrittämien mahdollisuuksien laajuudessa. Suurissa projekteissa energiasimuloinnit ja elinkaarikustannukset teetetään yleisesti erillisenä konsulttityönä.

### 4.5 Toteutussuunnittelu ja rakennusosamalli

Tietomallintamisen kannalta tarkkuustaso on huomattavasti suurempi toteutussuunnittelussa yleissuunnitteluun verrattuna. Muuten perusmenettely on vastaava kuin edellisessä vaiheessa. Tässä vaiheessa malliin ei ole järkevää tehdä suuria muutoksia tehokkaan suunnittelutyön kannalta. Tietomallia tarkennetaan yksityiskohtaisilla tyyppitiedoilla. Tarkkuustasoksi voidaan määritellä urakkatarjouspyyntöjen vaatima suunnittelutarkkuus. Tämän vaiheen tietomallia kutsutaan rakennusosamalliksi.

Määriteltävissä tiedoissa tulee kuitenkin huomioida mahdolliset urakoitsijakohtaiset muutosmahdollisuudet, jotka tulevat ajankohtaiseksi urakkatarjousvaiheessa. Maanalaisessa rakentamisessa muutokset koskevat yleisesti seinä- ja laattarakenteiden tyyppitietoja. Toisin sanoen näiden tietojen muuttaminen mallin sisällä tulee olla nopeaa ja vaivatonta. Urakkaneuvotteluvaiheessa projekti etenee vauhdilla eikä teknisiin hidasteisiin yleensä varauduta.

Tilaaaja yhdessä rakennuttajakonsultin kanssa hyväksyy suunnitelmat ja ohjaa suunnittelua toteutussuunnitteluvaiheessa. Mallien mahdollistamat visualisoinnit auttoivat kommunikoinnissa ja tukevat päätöksentekoa. Suunnitelmia tarkennetaan tässä vaiheessa ja tietomallit päivitetään suunnitelma muutoksia vastaaviksi.

## 4.5.1 Rakennesuunnittelu toteutussuunnitteluvaiheessa

Rakenne- ja arkkitehtisuunnittelun tietomallien tulee vastata toisiaan. Joissakin ohjelmistoperheissä on mahdollista, että arkkitehti ja rakennemalli on yksi ja sama. Tästä aiheutuva synergiaetu nopeuttaa tietomallintamisprosessin etenemistä. Tämä tarkoittaa myös sitä, että arkkitehtisuunnittelu ja rakennesuunnittelu ovat saman yrityksen alla ja suunnittelijat konkreettisesti lähellä toisiaan. Arkkitehtisuunnittelu tuottaa rakennusosamallin vaiheen toteutussuunnitteluvaiheen lopputuloksena. Rakennusosamallissa rakennusosat ovat siinä muodossa kuin ne on tarkoitus lopullisessa rakennuksessa toteuttaa. Niin rakenne- kuin arkkitehtisuunnittelumallinkin tulee olla siinä muodossa, että malleja voidaan käyttää määrälaskennassa selkeällä tavalla. Rakennesuunnittelumallin kautta on mahdollista tuottaa reikä ja varaussuunnitelmia, jos LVIS-suunnittelussa on tässä vaiheessa ryhdytty tietomallintamistyöhön.

Taulukko 1. Tyypillinen pilaritaulukko urakkalaskentavaiheen käyttöön.

TERÄSPILARIT / STEEL COLUMNS				
TUNNUS / POSITION	PILARI / COLUMN	TYYPPI / TYPE	PITUUS / LENGTH (mm)	PAINO / WEIGHT (kg)
51	RRHS 80x80x5	Putkipilarit - neliöt	1090	12.3
52	RRHS 80x80x5	Putkipilarit - neliöt	2440	27.6
53	RRHS 80x80x5	Putkipilarit - neliöt	1090	12.3
54	RRHS 80x80x5	Putkipilarit - neliöt	2440	27.6
55	RRHS 90x90x5	Putkipilarit - neliöt	4040	51.7
63	RRHS 90x90x5	Putkipilarit - neliöt	84	1.1
56	RRHS 90x90x5	Putkipilarit - neliöt	4050	51.8
57	RRHS 90x90x5	Putkipilarit - neliöt	4050	51.8
58	RRHS 90x90x5	Putkipilarit - neliöt	4050	51.8
59	RRHS 90x90x5	Putkipilarit - neliöt	3530	45.2
64	RRHS 90x90x5	Putkipilarit - neliöt	84	1.1
65	RRHS 90x90x5	Putkipilarit - neliöt	84	1.1
66	RRHS 90x90x5	Putkipilarit - neliöt	84	1.1
60	RRHS 90x90x5	Putkipilarit - neliöt	960	12.3
61	RRHS 90x90x5	Putkipilarit - neliöt	1490	19.1
67	RRHS 90x90x5	Putkipilarit - neliöt	1270	16.3
62	RRHS 90x90x5	Putkipilarit - neliöt	1270	16.3
68	UPE 100	UPE - pilarit	295	2.9
69	UPE 100	UPE - pilarit	435	4.3
Grand total: 19			407.5	

Rakennesuunnittelun osalta rakennemallia kutsutaan rakennusosamalliksi toteutussuunnitteluvaiheessa. Tämän vaiheen suunnittelu jaetaan laskentavaiheeseen ja toteutusvaiheeseen. Julkaisussa YTV2012 laskentavaihetta kutsutaan hankintoja palvelevaksi suunnitteluvaiheeksi. Mallin tarkkuustaso luonnollisesti kasvaa sellaiselle tasolle, että konkreettinen rakennustyö on mahdollista näillä suunnitelmilla. Tämä tarkoittaa detaljitason suunnitelmia, jotka on tarkastettu laatujärjestelmän mukaisella varmuudella. Rakennesuunnittelijan rakennusosamallia, sen vaatimuksia ja esitystapoja maan alaisessa rakentamisessa käydään läpi kohdassa 8.

### 4.5.2 LVIS-suunnittelu toteutussuunnitteluvaiheessa

LVIS-suunnitelmien tietomallit tulee tukea rakenne- ja arkkitehtisuunnittelun tuottamia tietomalleja. Tämä edellyttää sitä, että tässä vaiheessa hanketta on ylipäättään sovitettu tehdä talotekniikkaan liittyvät tietomallit. LVIS-malleja tulee käyttää määrä- ja kustannuslaskennan apuna. Talotekniikan malleja käytetään myös yhteensovittamista ja törmäystarkasteluissa suunnittelutoimialojen välillä.



Kuva 2. TATE- ja RAK-suunnittelun sovittamisen kautta saadaan toimiva lopputulos.

Tässä suunnitteluvaiheessa havainnollistavia suunnitelmia voidaan käyttää aiempia vaiheita paremmin, koska tietomallin informaatiot riittävät usein varsin korkeatasoiseen havainnollistamiseen. Projektin alussa tulee määritellä missä tarkkuustasossa havainnollistamisen määrä ja laatu on. Rakennushankkeen alussa suunnittelutarjouspyynnön kautta tilaaja määrittelee vaadittava tarkkuustason tässä vaiheessa. Tulee kuitenkin huomioda, että ei ole vielä mahdollista valmistaa tarkkoja havainnollistavia suunnitelmia, jotka vastaavat yksityiskohtaisesti lopputulosta ilman erillistä lisätyötä.

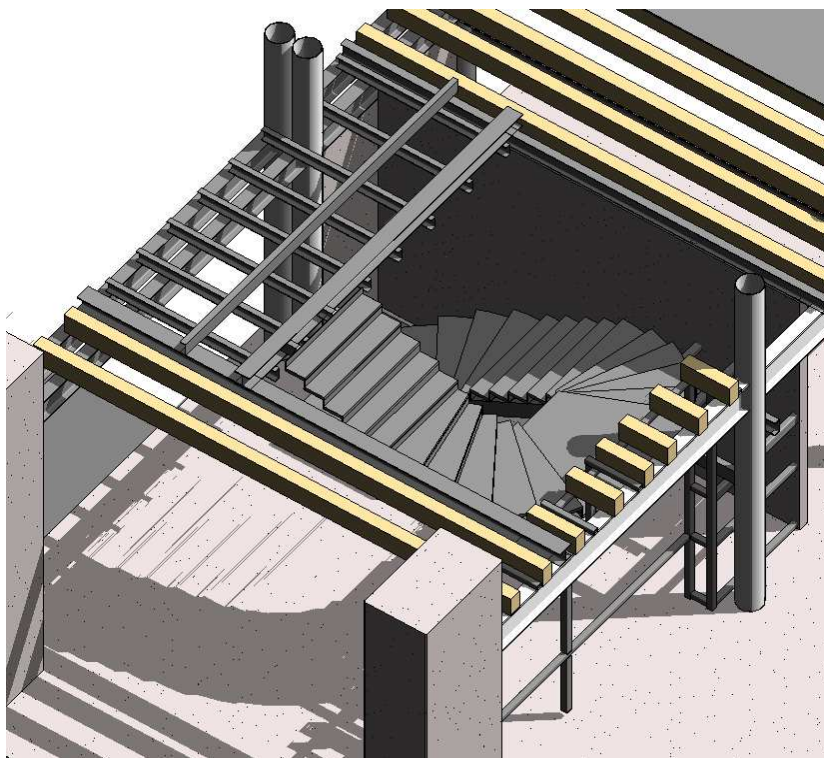
Suunnittelualojen välisten mallien tietojen törmäystarkasteluun voidaan käyttää erillistä koordinointimallia. Koordinointimallin kautta tietomallien laatukriteerit tulee tarkastettua. Malleista voidaan koordinointimallin kautta esimerkiksi poistaa ylimääräiset tiedot, jotka voivat pahimmillaan vääristää määrälaskentaa. Koordinointimallista käytetään myös termiä yhdistelmämalli. Kuvassa 2 on esitetty tyypillisiä kalliotilojen väestönsuojatekniikkaa, joiden tilavarausten huomioiminen oleellinen osa tietomallia ja törmäystarkasteluita.

Niin ikään tietomallista saatavia määräluetteloita tarkennetaan edellisestä vaiheesta

TATE-suunnittelualoilla. Näin saadaan tarkempia kustannusarvioita osapuolten käyttöön. Toteutussuunnitteluvaiheessa tulee määräluetteloiden ulkoasu ja esitystapa olla sellaisia, että ne palvelevat mahdollisimman hyvin seuraavan vaiheen urakkalaskentatyötä.

### 4.6 Urakkatarjousvaihe

Urakkatarjousvaiheessa malleista saatavat tiedot luovutetaan urakkatarjouskilpailuun osallistuvien urakoitsijoiden käyttöön. Suunnittelun pääperiaatteena tässä vaiheessa on se, että mallien tulee palvella tulevia hankintoja mahdollisimman kattavasti. Taulukossa 1 on esitetty pelkistetyksi hankkeen pilareiden luettelointia. Näiden tietojen pohjalta urakoitsijat laativat urakkatarjouksen ja rakennustyön alustavan suunnitelman. Havainnollistavien kolmiulotteisten mallien avulla urakoitsijat tutustuvat helpommin suunnitelmiin ja tulevan rakennuksen ympäristöön. Kuvassa 3 on urakkatarjouksen tekemistä helpottava selventävä visualisointi toteutuneesta kohteesta Helsingin ydinkeskustasta. (Senaatti-kiinteistöt, Tietomallivaatimukset 2007)



Kuva 3. Toteutusvaiheen havainnollistava kuva porraskäytävästä.

Joidenkin tietomallintamisohjelmistojen avulla urakoitsijalla on mahdollista aikatauluttaa rakennustyön eri vaiheet. Rakennusvaiheet voidaan esittää visuaalisin esitystapojen kautta selkeästi osapuolille. Tällaisesta ominaisuudesta käytetään yleisesti termiä 4D-ohjelmisto. On myös ohjelmistoja, joissa hallitaan aikaulottuvuuden lisäksi myös komponenttien ja rakennusvaiheiden kustannustietoja. Tästä ominaisuudesta

käytetään nimitystä 5D-ohjelmisto.

Kalliorakennesuunnittelussa urakoitsija laskee urakka-aineiston perusteella mm. reikämäärät, porausmäärät, arvion sementtimenekistä sekä injektointiin kuluva työajasta. Ihannetilanteessa tietomallista saataisiin tehokkaasti tiedot urakoitsijan käyttöön nopeasti hankevaiheen vaatiman tarkkuustason mukaisesti. (Jääskeläinen 2007)

#### 4.7 Toteutusvaihe ja rakentamisen aikainen suunnittelu

Tietomallia päivitetään rakennustyön edistyessä. Suurin ero vallitsevan kaksiulotteisiin tasopiirustuksiin pohjautuvan ja tietomallintamiseen pohjautuvan suunnittelun välillä on muutosten hallinta. Mallintamisen suurin suunnittelutyöpanos keskittyy osaluokkiin, jotka tehdään ennen rakennusvaiheen aloittamista. Rakennusvaiheessa tietomallin muokkaus perustuu suunnitelmien pienitöisiin päivitys- ja tarkennustehtäviin. Toisin sanoen suunnitelmien pitkälle viety yhteensovittaminen on sellaisessa tasossa, ettei suuria muutossuunnittelua tehdä enää rakentamisvaiheessa. Tämä tulee huomioida tietomallintamiseen pohjautuvan suunnittelutyön resursoinnissa hankkeen aloitusvaiheessa.

Periteisiin tasopiirustuksiin pohjautuva suunnittelutyö tarkentuu hankkeen rakennustöiden etenemisen myötä maanalaisessa rakennushankkeessa. Siinä suunnittelutyöpanos on suuri myös kohteen rakennustyön aikana. Ongelmakohtat tulevat esille kun työ konkreettisesti lähtee käyntiin. Pullonkauloja havaitaan kun osapuolet pääsevät selkeään ymmärrykseen kaikkien suunnittelualojen tilatarpeesta ja asennusten työtekniikasta. Kaarevat ja epätasaiset pinnan aiheuttavat suunnitelmatarpeita työn edetessä. Tässä on yksi selkeä ongelma, johon tietomallintamisella pyritään saamaan toimivia ratkaisuja. Toteutuneiden tietomallintamiseen perustuvien maanpäällisten hankkeiden perusteella suunnitteluvirheiden väheneminen on ollut yksi suurimmista edistysaskelista. Kuvassa 3 on esitetty tyypillisen kalliotiloissa sijaitsevan parkkihallin IV-kanava- ja putkimäärää ylimmässä pysäköintitasossa. Kanavien suuri koko ja määrä selittyy suuren ilmanvaihtotarpeen ja tarkkojen paloturvallisuusmääräyksien vuoksi.





Kuva 3. TATE-rakenteiden määrä kalliotiloissa on suuri.

Urakoiden edetessä tietomallin kautta pyritään saamaan informaatiota toteutuneesta rakennustyöstä. Erityisesti louhintaurakan aikana yksi suurimmista suunnittelutyöhön liittyvistä työpanoksista liittyy toteutuneen työn ja teoreettisten suunnitelmien vertaamiseen. Tietomalliin on mahdollista syöttää tiedot toteutuneesta tilasta ja vertailla tarkasti tiloja teoreettiseen malliin entistä tarkemmin ja tehokkaammin. Tämä edellyttää mittaus- ja tietomallintamisohjelmistojen kehittymistä ja yhteensopivuutta suunnittelutyön ehdoilla.

### 4.7.1 Urakoitsijalle lisähyödyt tietomallista toteutusvaiheessa

Pääurakoitsijalle tietomalli mahdollistaa rakennusvaiheiden tarkan suunnittelun ja tarkastelun ohella myös rakennuksen määrätietojen käsittelyn. Pääurakoitsija voi halutessaan välittää määrätietoja aliurakoitsijoille, teräspajoille, materiaalitoimittajille ja elementtitehtaille tietomallien kautta.

Hankkeen sopimuksista riippuen suunnitteluorganisaatio voi toimittaa tiedot suoraan tehtaille ja toimittajille pääurakoitsijan ohjeistuksen mukaisesti. Tätä toimintatapaa on testattu toteutuneen pilottikohteen avulla. Elementtirakenteista väestönsuojaa koskevaa pilottihankkeen toimintatapaa ja siitä saatuja tuloksia käsitellään tarkasti kohdassa 7. Tietomallista on maanpäällisessä rakentamisessa saatu kiistattomia hyötyjä aikaisemmin toteutetuissa kohteissa.

## 4.8 Vastaanotto

Rakennustyön päätyttyä tietomalli päivitetään toteutuneen rakenteen mukaisesti. Tästä käytetään hankkeessa termiä toteumamalli. Siinä tietomalliin täydennetään kaikki

rakentamisvaiheessa tehty muutokset niin, että toteumamalli vastaa lopputulosta. Toteumamalli toimii pohjana rakennuksen huoltotyölle ja tuleville korjaustoimille. Mallia täydennetään rakennuksen käytön mukaan niin, että se vastaa sen hetkistä tilannetta mahdollisimman kattavasti. Tarkkuustaso, mallin ylläpitäjä ja tekniset sovitaan tapauskohtaisesti tilaajan ja rakennuttajan toimesta. (Senaatti-kiinteistöt, Tietomallivaatimukset 2007)

Tehdyt mallit luovutetaan tilaajalle projektin alussa sovitussa laajuudessa. Mallit luovutetaan standardin mukaisessa IFC-muodossa sekä ohjelmiston alkuperäisessä tiedostomuodossa eli alkuperäismallissa käytetyssä tiedostomuodossa. Materiaali luovutetaan sähköisessä muodossa esimerkiksi DVD-levyllä. Luovutettavassa materiaalissa tulee olla kaikki projektiin liittyvä oleellinen tieto. Ylimääräinen informaatio tulee malleista karsia pois.

#### 4.9 Ohjelmistoja ja projektia koskevat tekniset vaatimukset

IFC-sertifioitujen ohjelmistojen käyttö on tällä hetkellä tietomallinnuksen yleinen tiedonsiirto vaatimus. Tällä hetkellä käytössä oleva IFC-standardin versio on 2x3. Opinäytetyön tekovaiheessa versio 2x4 oli beta-testausvaiheessa. Tulee kuitenkin muistaa, että IFC-tiedonsiirtomuodon lisäksi on olemassa muitakin tiedonsiirtonuotoja. Niiden toiminta ja käyttö perustuu ohjelmistoperheiden väliseen IFC-tiedonsiirtomuotoa tehokkaampaan tiedonsiirtoon. Tällä hetkellä IFC-sertifioituja ohjelmia on markkinoilla noin 20 kappaletta ja niiden lukumäärä tulee lisääntymään tulevaisuudessa.

Tiedonsiirron sujuvuuden kannalta osapuolten tulee käyttää samoja ohjelmistoversioita koko projektin ajan. Toimialojen sisäiseen työskentelyyn ei ole syytä määritellä rajoituksia ohjelmistojen, dokumenttien tai työskentelytapojen suhteen.

#### 4.10 Tekniset haasteet suunnitteluorganisaatiolle

Markkinoita johtavat ohjelmistoperheet ovat jo melko iäkkäitä. Kehitystyötä tehdään kuitenkin jatkuvasti ohjelmien ja ohjeistusten osalta. Lisäksi ohjelmistoversioiden julkistamisväli on melko tiheää. Suunnitteluorganisaation vastuuhenkilöiden pitää jatkuvasti olla ajan tasalla tietomalliin liittyvissä kehitysaskelissa.

Osa ohjelmistoista ei ole tarkoitettu monikäyttöön. Tällä hetkellä ohjelmistoja on räätälöitävä organisaation käyttöön. Tämä korostuu suunnittelusektoreissa, joiden asiantuntevuus perustuu valtavirrasta poikkeavaan rakennushankkeisiin, kuten kalliosuunnittelu. Toimivan järjestelmän takaamiseksi tarvitaan toimijoiden välillä kumppanuuksien kehittämistä. Lisäksi tietomallintamisen myötä tarvitaan muutoksia sopimuskäytäntöihin.

Keskikokoiselle suunnittelufirmalle uuden mallintajan investointikustannus on melko suuri, noin 25 000 – 35 000 euroa. Lisäksi suunnittelukäytäntöihin tarvitaan muutok-



sia niin yksilöiden kuin organisaation tasolla. Suurikokoisilla suunnitteluorganisaatiolla mallinnustyön tekee erillinen ohjelmiston käyttöön erikoistunut työntekijä ja itse suunnittelutyö on suunnittelijan vastuulla. Pienissä ja keskikokoisissa yrityksissä suunnittelija tekee myös tietomallinnustehtävät.

### 4.11 Tietomallintaminen toimialojen välillä

Tietomallin tehokas hyödyntäminen perustuu pitkälti osapuolien ja suunnittelijoiden väliseen kommunikaatioon. Tehokkain työskentelytapa on sellainen, että mahdollisimman moni toimiala sijaitsee fyysisesti lähellä toisiaan. Tämä mahdollistaa tehokkaan viestien vaihtamisen ja nopean suunnitelmien ristiintarkastamisen. Esimerkiksi kalliorakennesuunnittelija, rakennesuunnittelija ja arkkitehti voivat tehdä samaan aikaan hankkeen suunnittelutyötä samassa toimistossa.

Myös tietomallintamisen kannalta tällainen työympäristö on ihanteellinen. Nopea tietojenvaihdon kautta voidaan tehdä nopeita päätöksiä, jotka huomioivat mahdollisimman kattavasti suunnittelutoimialojen näkökulmia. Kun toimialat käyttävät yhtä tietomallia, toimintatavasta käytetään nimitystä yhteiskäyttö (collaboration, shared model). Tietomalli, joka on yhteinen ja jaettu osapuolille saman järjestelmän alaisuuteen vaatii erillisen palvelimen. Tosin ohjelmistoperheisiin on tullut tuotteita, jotka mahdollistavat esimerkiksi rakenne- ja arkkitehtisuunnittelijan käyttävän yhtä ja samaa tietomallia. Yhteiskäytön suhteen tietomallin suunnittelukuri ja sovitut ristiriidattomat toimintatavat tulevat olemaan suuressa merkityksessä.

Nykyisissä tietomallintamiskäytännöissä yleisin toimintatapa on rinnakkainen suunnittelu (concerted). Siinä suunnittelutoimialat tekevät tietomalleja erikseen oman toimintatavan mukaisesti. Tehtyjä malleja tarkastellaan aika-ajoin hankkeen edetessä tai kootaan yhteen tarkastelua varten. Yhteinen toimiva tiedonsiirtoformaatti on tässä tapauksessa hyvin tärkeä. Pelkistetyksi tämä toimintatapa käsittää tietomallien välisen törmäystarkastelun, jotka on mahdollista tehdä erillisen tarkeasteluun sopivalla ulkopuolisella ohjelmistolla. Suomessa on tällä hetkellä kaksi palveluntarjoajaa tällaiselle tarkastelulle.

Tietomallintaminen pelkistetyimmillään voi olla täysin erillistä muista toimialoista. Tästä toimintatavasta käytetään nimitystä erillinen suunnittelu (individual). Toimiala tekee tietomallia ilman muiden tietomallien vertailua tai tarkastelua. Mallista saatavat tiedot muokataan sellaiseksi, että muut toimialat saavat niistä tarvittavia lähtötietoja. Tällainen toimintatapa tulee aiheelliseksi silloin, kun hanke on suhteellisen pieni ja kaikilla osapuolilla ei ole valmiuksia tietomallintamiseen.

## 5 MAANPÄÄLLISEN JA MAANALAISEN TIETOMALLINTAMISEN EROT

### 5.1 Maanalaisen rakennesuunnittelun erityispiirteitä mallintamisessa

Valtaosa tietomallinnusohjelmista on tarkoitettu maanpäällisten rakennuksien mallintamiseen. Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan kuinka maanpäälliset toimintamenetelmät ja ohjeistukset soveltuvat kalliotiloissa sijaitsevien rakennusten tietomallintamiseen.

Suurelta osin maanpäälliseen tietomallintamiseen tarkoitetut menetelmät soveltuvat myös kalliotilojen suunnittelun käytettäväksi. Tässä osiossa käsitellään maanalaisen suunnittelun samankaltaisuuksia ja erityispiirteitä verrattuna normaaliin maan päälliseen suunnitteluun. Tarkastelunäkökulmina toimivat urakkamuodon vaikutus tietomallipohjaiseen suunnittelutyöhön sekä kalliorakennushankkeen urakkavaiheiden ominaispiirteet. Lisäksi käsitellään teknisten mittausvälineiden vaikutusta kalliotilojen tietomallintamiseen ja tarkastellaan toimialojen välistä toimintaa tietomallipohjaisen suunnittelutyön näkökulmasta.

### 5.2 Urakkamuodon vaikutus mallintamiseen

Osaltaan rakennesuunnittelutyöhön ja sitä kautta mallintamiseen vaikuttaa hankkeeseen valittu urakkamuoto. Urakkamuodon vaikutusta käsitellään kokonaishinta, -yksikköhinta, -laskutyö sekä tavoitehintaurakan näkökulmasta. Maan alaisissa hankkeissa käytetään usein maksuperusteiden yhdistelmiä urakassa. (Jääskeläinen 2007)

Urakkamuodon vaikutus tulee esille mallintamisessa tarkkuustason kautta ja mallintamiseen sijoitettavien suunnitteluvoimavarojen vaikutuksesta. Urakkamuodon vaikutus tulee esille erityisesti hankkeen toteutusvaiheessa.

#### 5.2.1 Kokonaishintaurakka

Kokonaishintaurakassa urakoitsija sitoutuu tekemään sovitun rakennustyön ja rakennuttaja maksamaan siitä sovitun kokonaishinnan. Työn olleessa suoritusyksiköltään ja laajuudeltaan määriteltä, soveltuu kokonaishintaurakka käytettäväksi. Kokonaishintaurakassa riski siirtyy urakoitsijalle. Erityisesti hankkeen louhintavaiheessa valvonnalla on tässä urakkamuodossa suuri merkitys. Ainoastaan järjestelmällisen valvontatoiminnan kautta voidaan päästä suunnitelmien mukaiseen laadukkaaseen lopputulokseen. (RT 16-10768)

Tässä urakkamuodossa hankkeen rajat ovat yleensä hyvin selkeät. Tämän vuoksi suunnittelutyö voidaan hallitusti rajata osa-alueisiin ja aikatauluttaa selkeästi projektin alussa. Tietomallin kautta osapuolet voivat tarkasti saada tietoja, jotka hyödyntävät konkreettisesti hankkeen etenemistä. Tietomalli voi kokonaishintaurakassa toimia kattavasti materiaalihankintojen ja aikataulutarkasteluiden hyväksi tilatarkastelujen ja vi-

sualisointien ohessa.

### 5.2.2 Yksikköhintaurakka

Yksikköhintaurakassa maksuperusteena toimii suoritusyksikkö. Rakennuttaja sitoutuu maksamaan urakoitsijalle suoritettua yksikkö kohden sovitun kiinteän hinnan. Tässä urakkamuodossa vastuu siirtyy enemmän rakennuttajalle. Mikäli yksikköjä tulee enemmän, joutuu rakennuttaja maksamaan suuremman summan. Yksikköhintaurakka soveltuu käytettäväksi, kun yksiköiden kustannukset ovat hyvin selvillä, mutta tarvittava yksikkömäärä ei. (RT 16-10768)

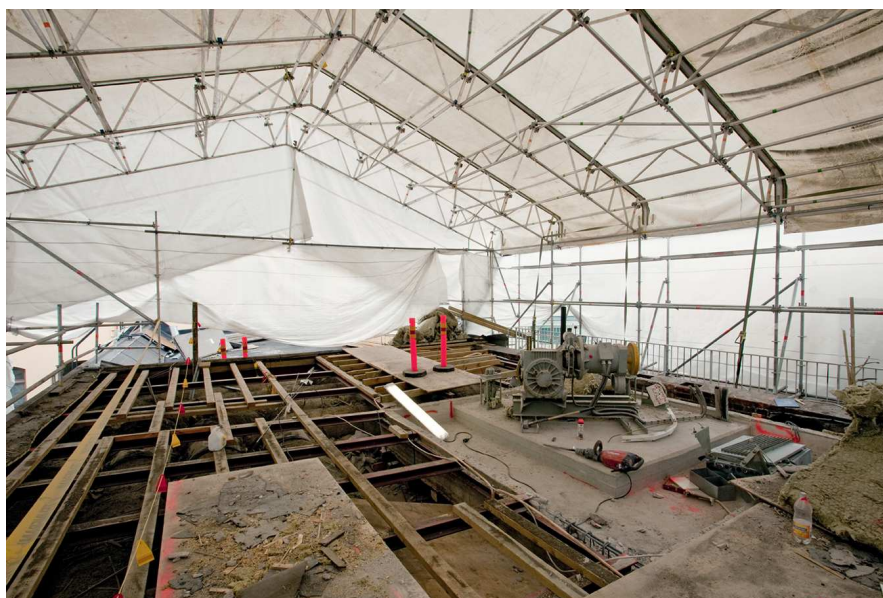
Koska tässä urakkamuodossa kokonaisuus ei ole tarkasti osapuolten tiedossa, suunnittelutyön resursointi voi olla haastavaa. Tietomallipohjaisen suunnittelun erityispiirre periteiseen kaksikulotteiseen esitystapaan on juuri voimavarojen jako hankkeen eri vaiheissa. Tietomallipohjaisessa suunnittelussa suuri osa voimavaroista jaetaan hankkeen alkuvaiheeseen luottaen kattaviin lähtötietoihin, kun taas periteisessä suunnittelutavassa voimavarat on jaettu tasaisesti hankkeen eri vaiheille. Maanalaisissa tiloissa työaikainen suunnittelutyö yksikköhintaurakoissa on selkeästi suurempi kuin maan päällisissä uudiskohteissa.

Tietomallin hyödyllisyyteen vaikuttaa yksikköhintaurakassa suoritusyksikön kokoluokka. Esimerkiksi jos urakkaan liittyy selkeitä suuria yksiköitä kuten hissikuiluja tai teräsbetonisia törmäselementtejä, on tietomallin hyödyntäminen selkeää. Yksiköt voidaan mallintaa tarkasti ja viedä tuotantoon esimerkiksi elementtitehtaalte. Suuren yksikön tarkastelulla saadaan rakenne optimoitua ja sitä kautta saavuttaa selkeitä kustannussäästöjä.

### 5.2.3 Laskutyöurakka

Laskutustyöurakassa urakoitsija sitoutuu tekemään sovitun työn ja rakennuttaja sitoutuu maksamaan urakoitsijan kustannukset sekä laskutyöpalkkion. Laskutyöurakassa riski on miltei täysin rakennuttajalla. Tässä urakkamuodossa urakoitsija saa lähes täysin kulunsa korvattua. Urakkamuoto soveltuu parhaiten sellaisiin töihin, joiden työtap ja kustannukset ovat hankalasti ennustettavissa, kuten korjausrakentamishankkeissa. (RT 16-10768)

Tässä urakkamuodossa tietomallin täysimittainen hyödyntäminen on haastavaa maanalaisissa rakennushankkeissa. Tietomallin hyödyntäminen on soveliaista, jos projektista on irrotettavissa kokonaisuuksia, jotka voidaan käsitellä irrallaan hankkeesta. Esimerkkinä voidaan mainita laajennettavan kalliutilan tarvitsema maanpäällinen ilmanvaihtorakennelma, joka rakennetaan olemassa olevan rakennuksen vesikatolle. Kuvas sa 4 on esitetty kalliorakennushankkeen sisustusurakkaan liitetty olemassa olevan kerrostalon vesikattorakenteiden muutostyö.



Kuva 4. Kalliotilojen rakenteet liittyvät usein maan päällisiin rakennuksiin.

### 5.2.4 Tavoitehintaurakka

Tavoitehintaurakka tarkoittaa urakkaa, jolle on asetettu tavoitehinta. Pelkistetysti urakoitsija rakentaa lopputuotteen pyrkien tiettyyn hankintahintaan. Tavoitehinnan alituttua urakoitsija on oikeutettu kannustinpalkkioon. Vastaavasti urakoitsija osallistuu tavoitehinnan ylittyviin kustannuksiin sopimusten mukaisesti. Tavoitehintaurakka asettaa haasteita valvontaorganisaatiolle. (RT 16-10768)

Tietomallin ominaisuuksista on hyötyä hankkeeseen ryhtyvälle. Erilaisten vaihtoehtojen kustannusvertailu tietomallin kautta on tarvittaessa hyvinkin kattavaa. Tavoitehinnan määrittely vaihtoehtojen välillä saadaan tehtyä tarkasti.

### 5.3 Maanalaisen hankkeen urakkavaiheen vaikutus mallintamiseen

Maanalainen rakennushanke voidaan jakaa moneen erilliseen urakkaan. Hanke itsessään saattaa kestää monia vuosia. Esimerkkinä voidaan käyttää massiiviset tunnelihankkeet, kuten metrotunneli tai tekniikaltaan haastavat jätevedenpuhdistuslaitokset.

Tässä opinnäytetyössä esitellään perinteinen urakkajakomalli ja käsitellään hankkeen tietomallin haasteita ja hyötynäkökulmia näissä urakkajaoissa. Urakat voidaan yleisesti jakaa kolmeen kokonaisuuteen, jotka ovat louhintaurakka, runkourakka ja sisustusurakka. Sisustusurakka monesti pilkotaan pieniksi erillisurakoiksi, kuten hissiurakaksi, johon sisällytettäisiin hissijärjestelmien asennus- ja testaustyö.

### 5.3.1 Louhintaurakkavaiheen haasteet tietomallintamisessa

Louhintaurakassa on havaittavissa kolme suurta haastetta tietomallintamisen kannalta. Ensinnäkin teoreettinen louhintä poikkeaa suuresti toteutuneesta louhinnasta. Tämä heijastuu rakennesuunnittelussa siten, että rakennusosien mallintamisessa ns. toteutusmallin ja teoreettisen mallin välinen ero pitää saada mahdollisimman pieneksi. Toisin sanoen teoreettisen mallin toteutusmallin muutostyö tulee saada mahdollisimman vaivattomasti. Pelkistettävyys ei kuitenkaan saa vääristää teoreettisen suunnittelun ja toteutussuunnittelun toimintaa.

Toinen haaste mallintamisessa on kaltevat, kaarevat ja epäsymmetriset rakenneosat ja tilat. Nykyiset tietomallinnusohjelmat perustuvat maan päällisten rakennusten mallintamiseen, joissa linjat ovat selkeitä ja tasaisia. Ohjelmasta riippuen epätasaisten linjojen teko on haasteellista, muttei mahdotonta. Kysymys on siitä, saadaanko mallintamisesta tarpeeksi etuja rakennusprojektiin jos kohteessa esiintyy haastavia muotoja suunnittelun työtehokkuuden kannalta.



Kuva 5. Toteutuneiden rakenteiden liitokset kallioon poikkeavat teoreettisesta suunnittelusta.

Kolmas haaste louhintaurakan osalta on louhintaurakoitsijoiden suunnittelukäytäntöjen hallinta. Jotta tietomalli saadaan tehokkaaseen käyttöön, urakoitsijalta vaaditaan tiettyä tietotaitotasoa ohjelmistojen käytön suhteen. Nykyisellään louhintaurakoitsijoiden tarve hallita suunnitteluohjelmia on melko vähäinen. Tietomallintamisen tehokkaan käytön kannalta ohjelmistot tulee olla tuttu myös urakoitsijoille. Yleisesti perinteinen rakennusurakoitsijan tietotaitotaso ohjelmistojen suhteen on nykyisellään hyvää tasoa louhintaurakoitsijoihin verrattuna.

### 5.3.2 Rakennesuunnittelun tietomallintaminen louhintaurakassa

Yleisesti louhintaurakan aikana rakennesuunnittelun kannalta tehdään massiivisia teräsbetonirakenteita ja maatayttöjä, jotka ovat kustannustehokkuuden kannalta viisasta tehdä projektin varhaisessa vaiheessa. Tyypillisiä teräsbetonirakenteita ovat kuilujen ja avolouhintojen tukirakenteet ja reunapalkit, massiiviset suuaukon betoniseinät, salaoja ja maatayttörakenteet, alapohjan laattarakenteet ja tekniikka kannatuksen tartuntarakenteet, jotka juotetaan puhtaaseen kalliomassaan.

Kalliorakenteiden suurten louhintatoleranssien vuoksi rakenneosien tarkkuustaso pyritään pitämään suhteellisen pienenä. Rakenteissa suositaan selkeitä linjoja. Vaikeita detalleja ei suunnitelmissa yleensä käytetä.

Louhintaurakassa esitettävissä vakiintuneissa ratkaisuissa ei yleisesti käytetä siinä määrin vakioteräsovia niin kuin runko- tai sisustusurakkavaiheen rakenteissa. Teräsbetonirakenteiden rauditus koostuu kalliota myötäilevästä raudoitteista. Tämä tarkoittaa sitä, että huomattava osa raudoitteiden taivutustyöstä tehdään työmaalla.

Pelkistettyjen muotojen vuoksi tietomallista saatava hyöty konkretisoituu louhintaurakan suhteen rakenteiden määrien tarkastelujen kautta. Tarkkuustaso teoreettisen ja toteutuneen louhinnan välillä saadaan tarkemmaksi kehittyvän kolmiulotteisen skannausmekaniikan avulla. 3D-skannauksen hyödyntämistä mallintamisessa käsitellään kappaleessa 6. Aikaisemmin määrien tarkastelu perustui tasotarkasteluun. Louhitusta tilasta otettiin kahdelta tai kolmelta tilasta ns. tarkemittaus, joka esitti mitatusta tasosta tarkasti kallion tai ruiskubetonipinnan. Tämän perusteella tarkasteltiin toteutuneita tilojen ja rakenteiden toteutuneita määriä. Kolmiulotteisella tarkastelulla tilojen ja määrien tarkkuustaso saadaan kasvatettua huomattavasti.

Louhintaurakasta siirrettäviä tietoja seuraaviin urakkavaiheisiin ovat esimerkiksi ruiskubetonisaloajat, patorakenteet sekä vuotoriskejä aiheuttavat kallion heikkousvyöhykkeet.

### 5.3.3 Runkourakkavaiheen haasteet tietomallintamisessa

Runkourakka käsittää maanalaisessa rakennesuunnittelussa massiivisten teräsbetonirakenteiden suunnittelun. Tässä osassa tietomallintamisesta saadaan määrälaskentaan



suurin hyöty esitetyistä urakkavaiheista. Tyypillisiä runkourakan rakenteita ovat kantavat seinät, laatat, pilarit ja palkit sekä suuret aukkorakenteet olemassa oleviin rakennuksiin. Runkourakkaan sisällytetään tyypillisesti paikallavalu- ja elementtirakenteita. Kuilurakenteet tehdään runkourakan aikaisessa vaiheessa ja jännitetyt laattarakenteet ja alapohjan pinnoitustyöt loppuvaiheessa. Kuvassa 5 on esitetty tyypillinen kuilurakenne, joka koostuu tekniikka- ja hissikuiluista.



Kuva 6. Väestönsuojan paineseinä on tyypillinen kalliotilan rakenne.

Rakennesuunnittelun kannalta runkourakkaa voidaan pitää merkittävimpana maanalaisessa rakentamisessa työpanoksen suhteen. Runkourakka käsittää paljon työaikaista suunnittelua ja suunnittelijan rakennetarkastusta sekä työmaa ohjeistamista. Ohjeistamisen suhteen havainnollistavat piirustukset ovat välttämättömyyksiä usein vaikeasti hahmotettavissa muodoissa. Epäsymmetriset, kaltevat ja kaarevat muodot ovat tavanomaisia maan alaisissa rakennelmissa. Valitettavan usein urakoitsija perehtyy suunnitelmiin tarkasti vasta päiviä ennen varsinaista työtä. Tällöin vaaditaan nopeita ratkaisuja, jos urakoitsija huomaa muutostarpeita suunnitelmissa. Nopeasti saatavia havainnollistavia kuvia on tällöin mahdollista saada suoraan tietomallista.

Tietomallista saatavat suurimmat hyödyt runkourakan osalta keskittyvät urakoitsijan näkökulmasta määrä- ja kustannuslaskentaan sekä aikataulusuunnitteluun. Suunnittelussa törmäystarkastelun kautta saadaan tarkastettua suunnittelualojen väliset suunnitteluristiriidat. Esimerkkinä voidaan pitää raskaista ja tiheään raudoitettuja väestönsuojan paineseiniä, joiden toteutuneet teräsmäärät kasvavat teoreettisesta määrästä huomattavasti, jos louhinta epäonnistuu seinän ja kallion kontaktipinnalle. Kuvassa 6 on keskipilasterilla esitetty VSS-paineseinä.

Tyypillisesti kun runkourakka alkaa, on louhintaurakassa mitatut tarketiedot suunnitteluorganisaatioiden käytössä. Tämä tarkoittaa sitä, että urakkalaskentaan varten valmistetut suunnitelmat päivitetään toteutussuunnitelmavaiheeseen. Suurin muutos näiden vaiheiden suunnitelmissa onkin toteutuneen louhintatiedon vieminen suunnitelmiin. Muuttuneet tilatiedot aiheuttavat tilasuunnittelun tarkennuksia ja mahdollisia muutoksia pääsuunnitelmiin ja taloteknisiin suunnitelmiin. Nämä kaikki muutokset ja tarkennukset tulee viedä rakennesuunnitelmiin mahdollisimman vaivattomasti nopeassa aikataulussa. Tapa jolla toteutuneen louhinnan muutokset viedään suunnitelmiin, on yksi suurimmista haasteista maanalaisen rakennesuunnittelun tietomallin tehokkaan toiminnan kannalta.

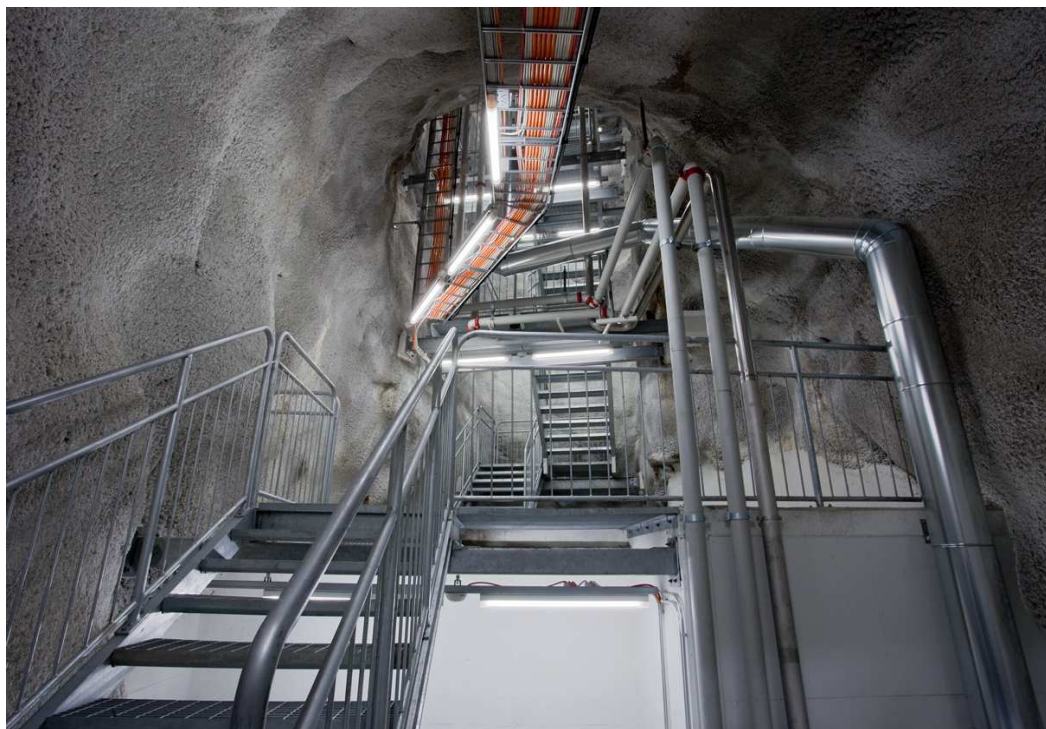
Toteutuneiden määrien vertaaminen teoreettisiin määriin on yksi runkourakan loppu-selvityksen osa-alue. Tietomallin kautta on mahdollista selvittää tarkasti teoreettisten ja toteutuneiden määrien erotus. Erotuksen selvittämisen tarkkuustaso tulee optimoida sellaiseksi, että työskentely on tehokasta.

### 5.3.4 Sisustusurakassa huomioitavat asiat

Kalliorakennushankkeen viimeinen vaihe käsittää talotekniikka-asennukset, kevyiden rakenteiden rakentamisen, pintojen viimeistelyn sekä järjestelmien testaustyöt. Tätä vaihe voidaan hankkeessa jakaa ns. sisustusurakaksi, mutta vaihe voidaan myös sisällyttää aiempiin urakoihin tapauksesta riippuen.

Sisustusurakassa rakenteiden detaljitaso nousee. Lisäksi talotekniikkaan liittyvät tietomallit tarkentuvat toteutuvan rakenteen mukaisesti. Tämä aiheuttaa muutoksia myös rakennesuunnitteluun. Muilta osin sisustusurakka ei poikkea maanpäällisestä rakentamisesta. Kuvassa 7 on esitetty ruiskubetonipintainen hätäpoistumisportailla varustettu kuilu, jossa on viety talotekniikkaa maan pinnalle. Selkeitä tartuntapintoja, kuten betoniseiniä, ei ole.





Kuva 7. Epätasainen kalliopinta aiheuttaa talotekniikan asennustyölle haasteita.

Tässä vaiheessa hanketta mukaan tulee voimakkaammin tulevat tilan käyttäjät. Esimerkiksi jos kalliotilat ovat tarkoitettu vuokrattavaksi varastotilaksi, on mahdollista että tulevat vuokralaiset haluavat tehdä tilamuutoksia. Muutokset vaikuttavat osaltaan rakennesuunnitteluun ja sitä kautta rakennesuunnittelun tietomalliin. Vuokralaisneuvotteluiden tarkemmat havainnollistavat suunnitelmat ja ehdotukset tulevat arkkitehtisuunnittelun kautta.

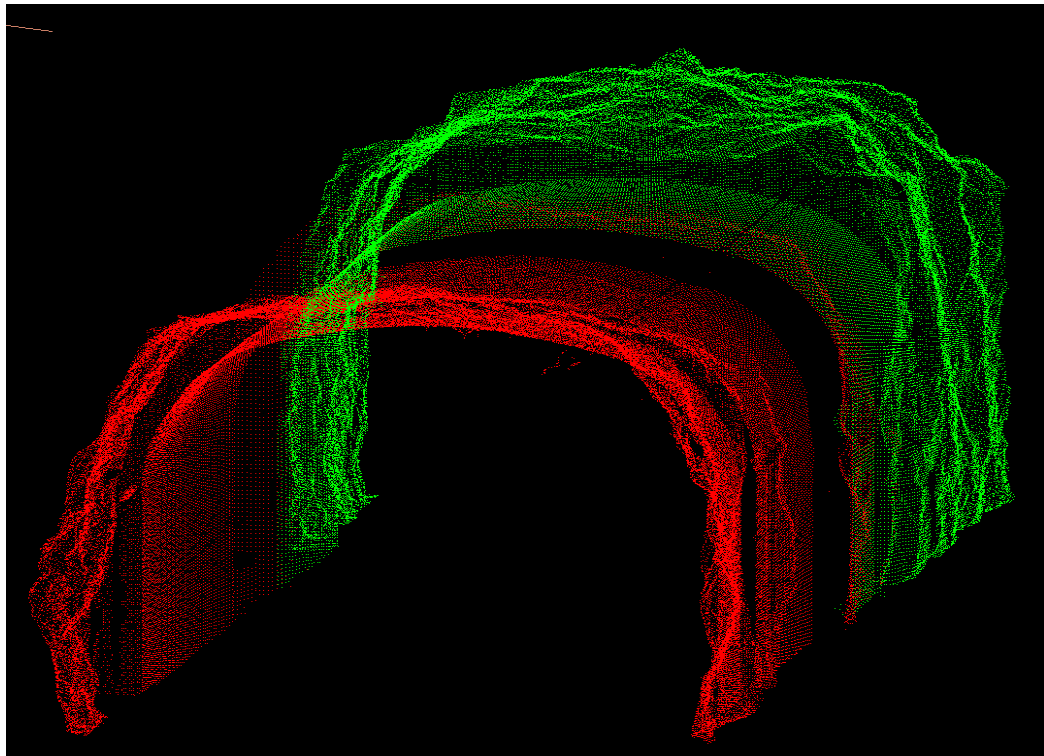
## 6 KALLIOTILOJEN 3D SKANNAUS JA MALLINTAMINEN

Nykykaikaisen suunnittelun keskeinen tunnusmerkki on voimakas tietotekniikan hyväksikäyttö kalliorakennushankkeiden eri osa-alueilla. Hankkeiden lähtöaineistona toimivat digitaalisessa muodossa olevat tutkimustiedot, kuten kartta-aineistot. Lähtöaineisto yhdistettynä toteutuneiden kalliotilojen digitaalisen kartoituksen kanssa, saadaan osapuolille nopea ja taloudellinen tiedonkulku hankkeen etenemisestä projektin aikana. (Ritola – Rönkä 1997)

Nykykaikaiset kolmiulotteiset mittausmenetelmät mahdollistavat kalliopinnan tarkan inventointimittauksen. 3D-mittaus on menetelmä, jonka avulla voidaan mitata rakennetun tai luonnonympäristön olemassa olevia pintaolosuhteita. Toteutuneen kalliotilan mittaaminen tehdään laserskannauksella. Mittauksen tuloksena saadaan digitaalinen mittapisteiden joukko, jota kutsutaan pistepilveksi. (Liimatainen 2010)

## 6.1 3D-laserskanauksen mittaustekniikka

3D-laserskannaus perustuu lähetetyn signaalin ja mitattavasta kohdasta heijastuneen signaalin interferenssi-ilmiöön. Mittauslaitteista riippuen mitattu tieto sisältää myös kyseisen kohdan koordinaattitiedot. Lisäksi on myös mahdollista määritellä heijastuneen pisteen väriarvo sen signaalin intensiteetin avulla. (Liimatainen 2010)



Kuva 8. Pistepilvi raakamuodossa.

Pistepilvessä on miljoonia mittapisteitä mitattavasta tilasta. Laserskannauksella voidaan ottaa parhaimmillaan tuhansia mittauksia sekunnissa. Markkinoilla on olemassa myös mittauslaitteita, jotka kolmioivat mitattavan pinnan automaattisesti. Kuvassa 8 on tunnelin osan pistepilvi laserskannauksen perusteella. (Liimatainen 2010)

Kolmiulotteinen mittaustekniikka on ollut käytettävissä 1970-luvulta lähtien. Tekniikan käyttö on yleistynyt rakentamishankkeissa lähinnä maanpäällisten korjausrakennuskohteiden myötä. Muilla aloilla tekniikkaa käytetään esimerkiksi kaukokartoituksissa ja teollisuuden eri toiminnoissa. Rakennustekniikassa 3D-laserskannaukset suoritetaan yleisesti pulssilasertekniikkaa tai vaihe-errotekniikkaa hyväksi käyttäen. (3D-laserskannaus: Käytännön ohjeita 2011)

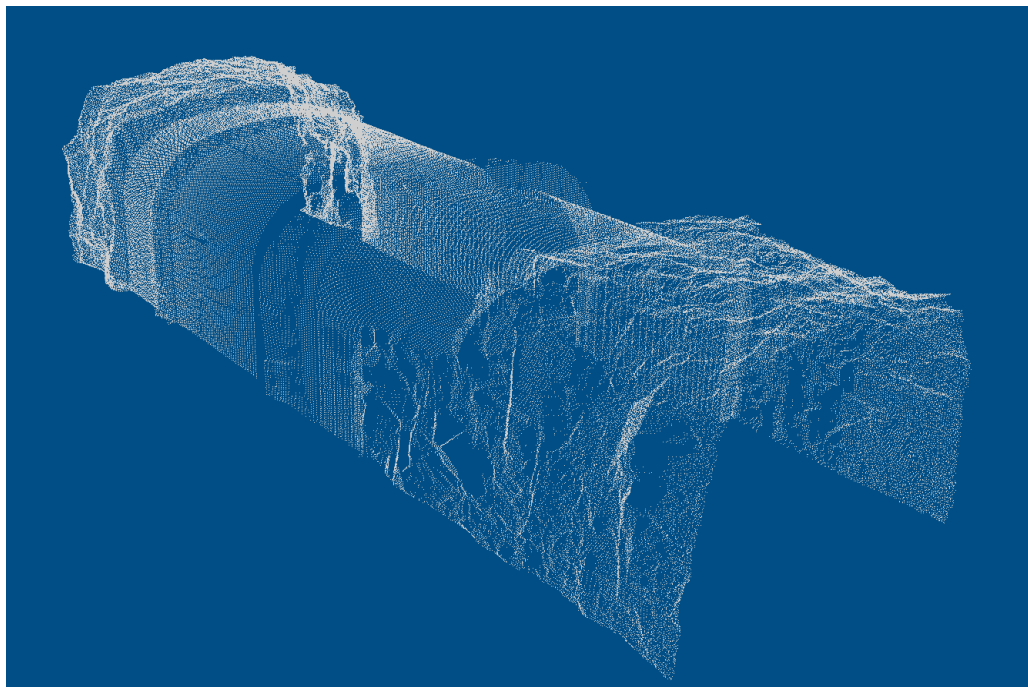
## 6.2 3D-skannauksen hyödyt

3D-mittaukseen liittyvät hyötynäkökulmat liittyvät mittaustarkkuuteen ja mittaustekniikkaan. Laserskannauksen myötä mittaustarkkuus kasvaa huomattavasti perinteiseen tasomittaustekniikkaan verrattuna. Tämän johdosta mittausvirheiden määrä vähenee ja tarkastelun varmuustaso kasvaa.

Mittaustekniikan osalta nykyaikaiset 3D-laserskannerit ovat automatisoitu pitkälle. Perinteiset linjamittaukset ovat suhteellisen aikaa vievää työtä ja niiden suorittaminen sitoo työvoimaa koko mittaustyön ajaksi. Laserskannaus voidaan osaltaan suorittaa esimerkiksi yön aikana tai muulloin kun työmaatoimintaa ei ole. Skannaus tapahtuu automaattisesti yön aikana ilman erillistä valvontaa tai ohjausta. (3D-laserskannaus: Käytännön ohjeita 2011)

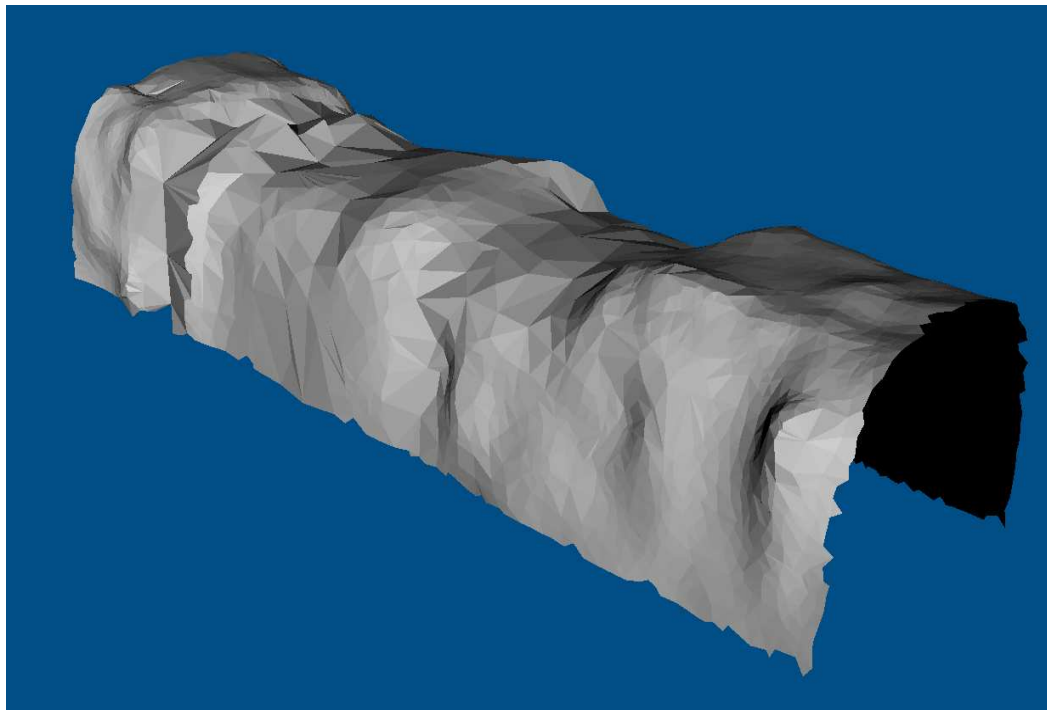
## 6.3 3D-skannauksen tietojen vieminen tietomalliin

Tällä hetkellä lasermittauksella tuotetusta pistepilvestä ei saada suoraan napin painalluksella käyttökelpoista pintamallia tietomallin käytettäväksi. Saatu pistepilvi käsitellään ulkopuolisella ohjelmalla kolmioverkoksi ja sitä kautta pintamalliksi. Jatkokäsittely on ehdoton, koska pistepilvestä saatu tietomäärä on yleensä liian suuri tietomalli-ohjelman käsiteltäväksi sellaisenaan. Erilaisia pistepilviohjelmia on saatavilla markkinoilla useita. Useissa ohjelmissa muodostetaan pinta kolmen lähimmän pisteen välille. Kun tämä toiminto suoritetaan, on tuloksena mitatun tilan pintamalli (3D-mesh). Kuvassa 9 on esitetty kuvassa 8 esitetyn pistepilven projektio ulkopuolisessa käsitteilyohjelmassa. Kuvassa 10 sama tunnelin osan muoto on muunneltu pintamalliksi.



Kuva 9. Pistepilvi tuotu ulkopuoliseen ohjelmaan.

Saatavissa pistepilviohjelmistojen toimivuudessa on suuriakin eroja. Lopputulos pitää olla käyttökelpoinen tietomallinnusohjelmissa, joten pistepilviohjelmiston ja tietomallinnusohjelmiston yhteensopivuus tulee testata ennen merkittäviä jatkotoimenpiteitä ja päätöksiä.



Kuva 10. Pistepilvestä muodostettu pintamalli.

Rakennusten mittaamiseen keskittyneillä yrityksiltä ja konsulteilta on mahdollista saada kokonaisvaltainen mittauspalvelu. Palvelu tarjoaa 3D-mittauksen ja valmiin pintamallin hankkeen jatkotoimenpiteitä varten, esimerkiksi tietomalliin sisällytettäväksi.

Suomessa 3D-laserskannauksen pintatietojen jatkokäsittely maanalaisissa rakennushakkeissa on ollut vähäistä. Periaatteessa kaikki työkalut ovat olemassa kattavaan jatkokäsittelyyn, mutta jatkokäsittelijöiden tietotaitoa ei ole riittävästi suunnitteluorganisaatioissa. Maan pällisten ja erityisesti siltarakenteita käsittelevien rakennushakkeiden vanavedessä maanalisten tilojen mittaustekniikka kehittyy ja muodostuu osaksi rakennuskulttuuria.

## 7 VÄESTÖNSUOJAN TIETOMALLINTAMINEN

### 7.1 Yleistä tietoa väestönsuojista

Vuodesta 1958 lähtien Suomessa on varauduttu systemaattiseen ihmisten ja omaisuuden suojaamiseen normaaliolojen aikana. Väestönsuojan rakentamisvelvollisuus on säädetty pelastuslaissa uudisrakentamisen ja saneeraustoimien osalta. (Väestönsuojan tekninen opas, osa 1)

Suomessa väestönsuojat jaetaan neljään luokkaan, K-, S1, S3 ja S6 luokkaan. Luokat määrittävät ympärysrakenteiden painekuormituksen kestävyysvaatimusten mukaan. Suojan luokka määrää varsinaisen suojatilan suurimman sallitun pinta-alan sekä suojattavien henkilöiden määrän. K-luokan väestönsuojan rakenteet ovat teräsbetonisia. S1- ja S3 luokan rakenteet voivat olla teräsbetonisia tai ne voivat olla sijoitettuna kalliotiloihin. S6-luokan suoja tulee sijoittaa kalliotiloihin. (Väestönsuojan tekninen opas, osa 2)

Heinäkuussa 2011 otettiin käyttöön uudet väestönsuoja-asetukset. Rakennushankkeiden rakennusluvuissa, jotka on haettu heinäkuussa 2011 tai sen jälkeen, on käytettävä uudistettuja väestönsuoja-asetuksia. Uusien ja vanhojen määräysten suurin ero on, se että luokat S1 ja K yhdistettiin. Lisäksi suojien mitoittamiseen tuli muutoksia erityisesti kuormitusten suhteen.

### 7.2 Elementtirakenteinen väestönsuoja

Suomessa elementtirakenteisia väestönsuojia on alettu rakentamaan vuodesta 1978. Tällä hetkellä niiden osuus on noin puolet kaikista uusista väestönsuojista. (S1 ja K-luokan väestönsuojat 2009)

VSS:n rakentaminen elementeistä antaa monia etuja perinteiseen paikalla valettavaan suojaan nähden. Rakentamisnopeudessa saavutetaan suuri aikataulusäästö. Normaali-kokoisen väestönsuojan pystytys, liitosten jälkivalu ja yläpohjan valu kestää noin 2-4 päivää kun se toteutetaan elementtirakenteisena. Lisäksi sääolosuhteet eivät vaikuta rakentamisaikatauluun. Tällöin ei myöskään synny häiriöitä rakennuksen muuhun rakentamiseen. Tämä etu korostuu erityisesti talviaikaan rakentamisessa. (S1 ja K-luokan väestönsuojat 2009)

### 7.3 Toteutettavan projektin valinta

Opinnäytetyöhön sisällytettiin todellinen hanke, joka käsitteli väestösuojaelementtien tuotemallintamista. Suunnittelutyö aloitettiin tammikuussa 2011 ja kohde valmistui väestönsuojan osalta lokakuussa 2011.

Suunnittelukohteeksi valittiin opinnäytetyön aikatauluun sopiva kohde. Valinnassa pyrittiin siihen, että kohde edustaa väestönsuojan perustapausta. Myös ympäristö- ja kuormitusolosuhteet tulivat olla tavan omaisia tämän tyyppisille väestönsuojille.

Tässä opinnäytetyössä käydään läpi toteutetun kohteen avulla tuotemallintamisesta saatuja hyötyjä ja kehitysnäkökuja. Tulee kuitenkin huomioida, että väestönsuojaelementtien tuotemallintaminen on aloitettu nollassa. Mitään valmiita malleja tai käytäntöjä ei ole suunnittelutyössä käytettävissä. Tämän vuoksi suunnittelutyön taloudellinen vertailu ja ajankäytön tarkka vertaaminen olemassa oleviin väestönsuojan suunnittelukäytäntöihin ei ole ollut täysin selkeää ja tasapuolista.

## 7.4 Rakennuskohde Tuusulan Pinja

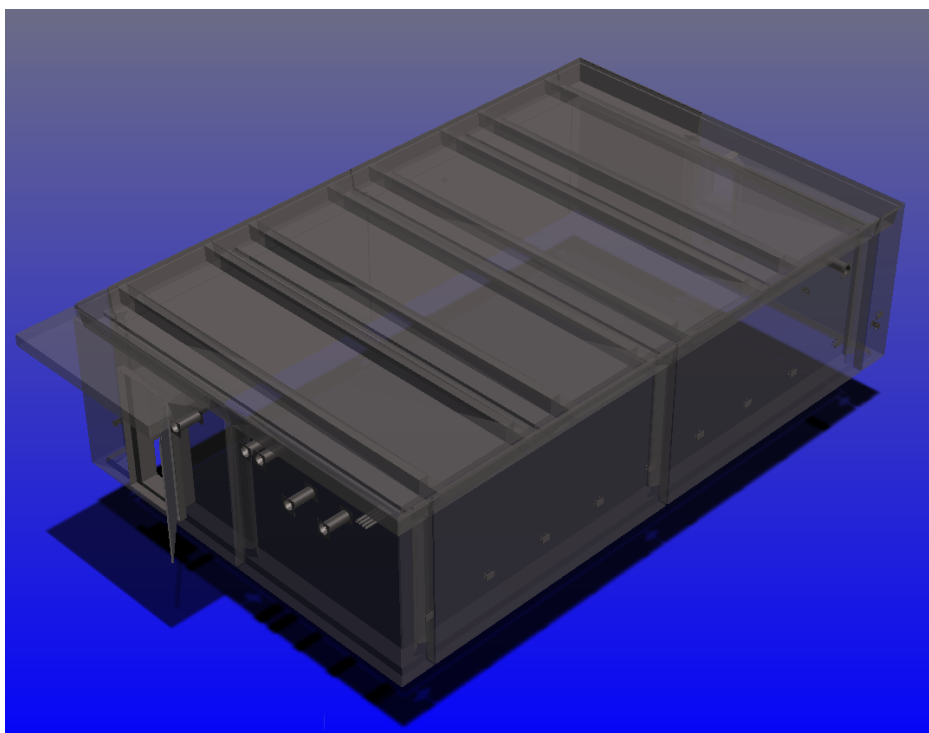
### 7.4.1 Rakennuskohteen yleinen esittely

Väestönsuoja rakennettiin asunto-osakeyhtiö Tuusulan Pinja Oy:n omistamalle tontille. Rakennushanke koostuu seitsemästä yksi ja kaksi kerroksisista ja rivitaloista niiden välittömään läheisyyteen rakennettavista huolto- ja varastorakennuksista. Asunto-osakeyhtiön väestönsuoja sisällytettiin yhteen varastorakennuksista.

Rakennusprojektin pääurakoitsijana toimii YIT Rakennus Oy. Kohteen arvioitu valmistuminen on syyskuussa 2012. Rakennustyöt aloitettiin kesäkuussa 2011. Kohde sijaitsee nimensä mukaisesti Tuusulassa Hämeentien varrella. Rakennuslupa kohteeseen on haettu ennen heinäkuuta 2011, joten väestönsuojan mitoituksessa ei ole käytetty uusia kevennettyjä väestönsuojamääräyksiä.

### 7.4.2 Kohteen väestönsuojan esittely

Suorakaiteen muotoinen väestönsuojan sisäpinta-ala on 59,6 m<sup>2</sup>. Tilan sisäkorkeus on 2300 mm, vapaa leveys 9,94 metriä ja syvyys 6,0 metriä. Seinän paksuus on 400 mm ja yläpohjarakenteen paksuus on 400 mm. Kuvassa 11 on esitetty havainnollistava kuva kohteen väestönsuojasta.



Kuva 11. Elementtirakenteinen väestönsuoja koostuu seinä- ja kattoelementeistä.

Väestönsuoja kuuluu luokan S1. Suoja koostuu 13 teräsbetonielementistä. Seinäelementtejä on yhteensä kahdeksan, jotka jaotellaan kulmaelementeiksi ja suoriksi seinäelementeiksi. Kattoelementtejä viisi, joista yksi on sortumalaatta. Elementtien muoto ja rakenne käydään läpi seuraavassa kappaleessa.

## 7.5 Elementtirakenteinen väestönsuoja

Väestönsuojaelementit koostuvat seinä- ja kattoelementeistä. Lisäksi suojaan sijoitetaan hätäpoistumistie-elementtejä, jos on tarpeen. Teräsbetonisten elementtien betonin lujuusluokka on yleisimmin C35/40.

Elementteihin sijoitettava rakenneteräs on luokkaa B500B. Terästen taivutus tehdään koneellisesti elementtisuunnitelmien mukaisesti. Elementeissä useasti toistuvat teräksiset voivat olla myös niin sanottuja vakioraudotteita, joita tehdään valmiiksi varastoon tulevia kohteita varten. Tällaisia teräosia ovat mm. seinien pystysaumojen tartuntateräksiset, asennuksen tukiteräksiset ja aukkojen pieliteräksiset.

Pintakäsittelyinä elementeissä käytetään hierrettyä ja telattua pintaa. Telattu pinta tehdään elementtiin, jos pinta jää lopullisessa tilanteessa näkyviin. Hierretty pinta on elementissä silloin, kun pinta jää piiloon esimerkiksi ulkoseinärakenteessa. Normaalisissa kohteissa ulkoseinään tulee erillinen ulkoverhoelementti väestönsuojaelementin eteen. Elementin teräsmuottipinta jätetään yleensä sisätilan puolelle.

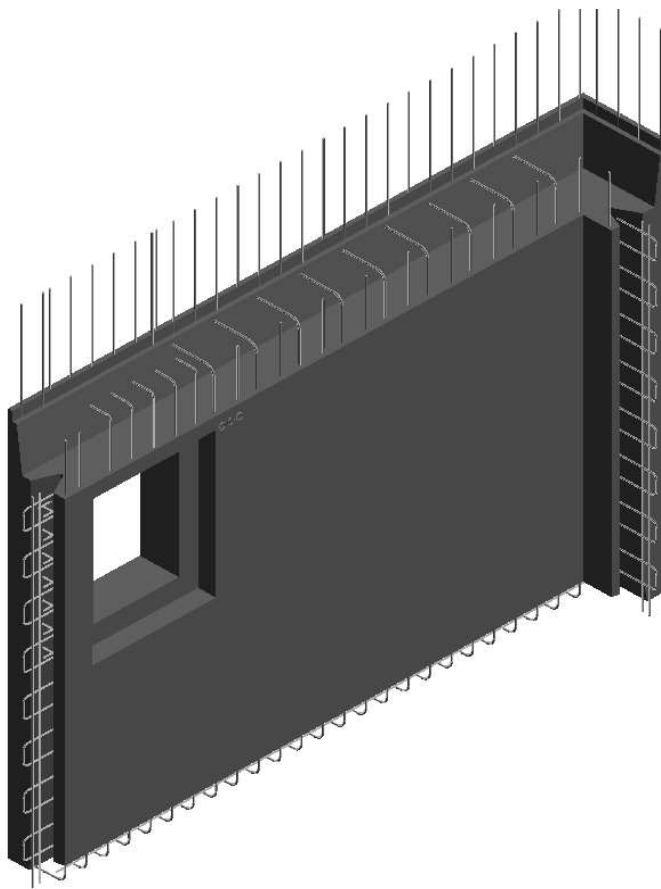


Yksittäisen elementin koko määrittyy tehtaan tuotantokapasiteetin rajoittamiin mittoihin sekä kuljetus- ja nostokapasiteetin rajoituksiin. Maksimi painona elementille pidetään 100kN. Ylityksiä voidaan sallia, jos elementin nosto-olosuhteet rakennustyömaalla sen mahdollistavat.

#### 7.5.1 Seinäelementit

Seinäelementit jaetaan kolmeen erityyppiseen elementtiin: kulma-, suora- ja väliseinäelementti. Seinäelementtiin voidaan sisältää myös pilasterirakenteita tai muita rakenteen vahvisteita. Seinäelementtien paksuus on yleisesti 300mm tai 400mm. Elementin korkeus riippuu tilan huonekorkeudesta. Yleisin mitta on toteutettavassakin kohteessa oleva 2300mm.

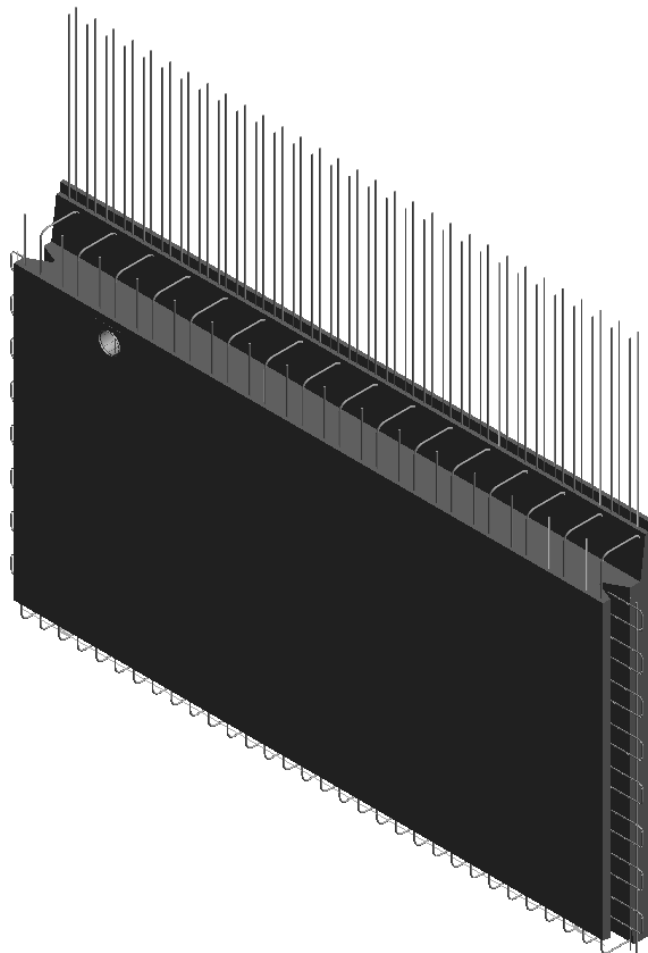
Kulmaelementit sijoittuvat nimensä mukaisesti väestönsuojan ulkoseinän kulmaosiin. Yleisesti kulmaelementin lyhyempi sivu on 600mm leveä silloin, kun seinämäpaksuus on 400mm ja 500mm kun seinämäpaksuus on 300mm. Tämä johtuu elementtitehtaan muottikaluston vakiomitoista. Kuvassa 12 on esitetty toteutetun kohteen kulmaelementti.



Kuva 12. Suojaluukulla varustettu kulmaelementti.



Suorat elementit sijoitetaan ulkoseinien jatkuvuusalueelle. Suorassa elementissä on yleensä enemmän yläosan tartuntateräksiä. Tämä johtuu elementin mitoituksesta. Mitoitusta käsitellään tarkemmin kohdassa 1.5.4. Kuvassa 13 on esitetty PINJA:n suora seinäelementti.



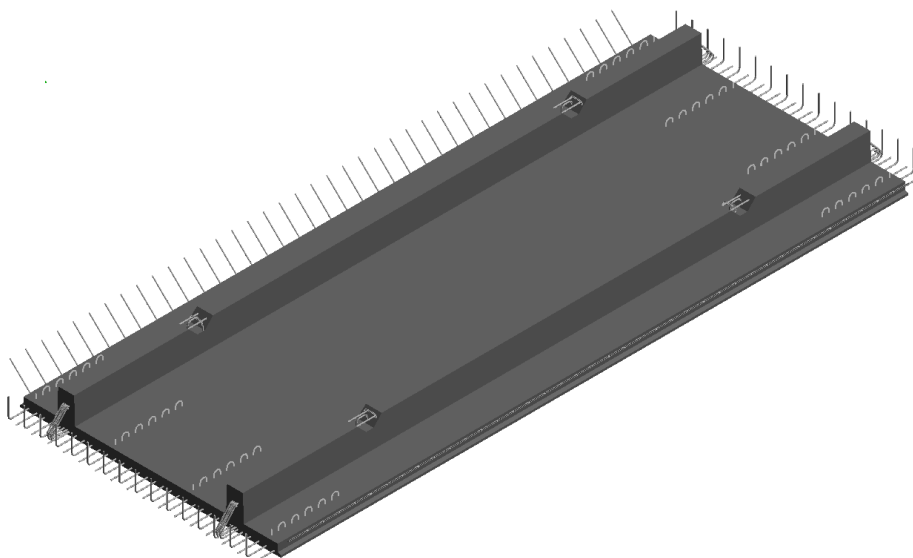
Kuva 13. VSS-läpivientiosalla varustettu suora seinäelementti.

Väliseinäelementit ovat ohuempia kuin ulkoseinissä. Paksuus vaihtelee välillä 120...260 mm. Myös väliseinien reunat ovat muodoltaan yksinkertaisempia ulkoseinäelementteihin verrattuna. Yleisesti väliseinien reunat ovat pelkistetyin suorina. Väliseinät voivat olla suorina tai kulmallisina. Niissä voi olla myös rakennetta vahvistavia muotoja, kuten pilastereita.

### 7.5.2 Yläpohjaelementit

Väestönsuojan yläpohjiin sijoitettava elementin ovat kuorielementtejä. Ne toimivat osaltaan muottina jälkivalulle, joka tehdään elementtien asennuksen jälkeen työmaalla. Kuorilaatassa on yleensä kaksi palkkikaistaa, kuten kuvassa 14 esitetyssä toteutetun kohteen kuorilaatassa. Palkkikaistoilla varmistetaan pitkien ja ohuiden laattojen ehjänä säilyminen laattoja siirrettäessä. Ne myös rajoittavat laatan taipumia valutilanteissa. Kuorielementit toimivat lopputilanteessa yhtenäisenä yläpohjalaattana yhdessä jälkivalettavan laattaosuuden kanssa tartuntaterästen avulla. Lisäksi kuorilaatan yläpinta karhennetaan valmiiksi tehtaalla valun yhteydessä, jotta tartuntaolosuhteet ovat paremmat paikalla valettavan osuuden kanssa. Laattoihin ei yleensä ole tarvetta tehdä reikiä.

Kuorilaattojen leveyden mitoittamisessa pyritään siihen, että kaikki asennettavat laatat ovat täysin samanlaisia. Tällöin laattojen valmistamisessa ja mitoituksessa saadaan tuotantoa helpottavia tekijöitä. Esimerkiksi muottikalusto ja raudoitetiedot pysyvät samana jokaisessa laatassa. Myös elementtien asentaminen helpottuu, koska kuorilaattojen asennusjärjestyksellä ei ole merkitystä.



Kuva 14. Kuorielementissä on kaksi palkkivyöhykettä symmetrisesti.

Jos väestönsuojassa ei ole erillistä sortumien kestäväää suojattua sisään/ulostuloa, väestönsuoja varustetaan erillisellä sortumalaatalla. Tavan omaisessa kohteessa laatta on paksuudeltaan 200mm ja muodoltaan suorakaide. Se sijoitetaan varsinaisen väestönsuojan ulkopuolelle oviaukon yläpuolelle.

### 7.5.3 Hätäpoistumistie-elementti

Väestönsuojassa on oltava sisääntuloreitin lisäksi vähintään yksi hätäpoistumistie-  
ti, jonka on johdettava rakennussortuman ulkopuolelle. Tarvittaessa väestönsuojaan  
tehdään erillinen elementti hätäpoistumistien kohdalle. Elementti valmistetaan teh-  
taalla kokonaisuena. Tarvittaessa niitä voidaan asentaa useampi peräkkäin, jos vara-  
uloskäytävän pituus on liian pitkä yhdelle elementille. (S1 ja K-luokan väestönsuojat  
2009)

### 7.5.4 Elementteihin liittyvät varusteet ja läpivientiosat

Seinäelementteihin lisätään talotekniikan tarvitsemat läpivientiosat, ovet ja luukut  
VSS- läpivientikaaviossa esitettyihin paikkoihin. Läpivientiosat voidaan jakaa suu-  
rempiin ilmanvaihtoläpivientiosiin ja pienempiin kaapeli- ja putkiläpivientiosiin.  
Luukkujen ja ovien tyypit määräytyvät kyseisen kohteen väestönsuojaluokan perus-  
teella. Seinäelementteihin luukkujen alapuolelle sijoitetaan myös teräksiset askelmat.

Lisäksi elementteihin lisätään liittyvien rakenteiden vaatimat osat, kuten tartuntateräs-  
osat. Näiden osien sijainti on selvitettävissä päärakennesuunnitelmista. Elementteihin  
lisätään myös asennuksen aikaiset pystytyskaluston ja suoja-aitojen vaatimat sisäkier-  
rehokit. Näiden sijainti on selvitetty elementtitehtaan teettämässä asennusohjeistuk-  
sessa.

Jokaiseen elementtiin asennetaan siirtoja varten olevat nostolenkit. Niiden sijoittelu  
tulee mitoittaa huolellisesti, jotta nostot onnistuvat turvallisesti niin, ettei elementti  
pääse kallistumaan tai pyörähtämään vaarallisesti. Nostolenkit sijoitetaan painopis-  
teen suhteen symmetrisesti. Nostolenkin ovat taivutettuja pyöröterästankoja. Tankojen  
halkaisija vaihtelee 12...20 mm välillä riippuen elementin painosta.

Yhteen tai kahteen seinäelementtiin upotetaan pystyrimoitus liittyviä väestönsuojati-  
lanteen aikaisten käymälien kevyitä seinämiä varten. Näiden seinämien tarkoitus on  
toimia suojatilanteessa tilanjakajina. Seinämien lukumäärä riippuu suojan kokoluo-  
kasta ja mitoituksesta.

## 7.6 VSS-kohteen toteutus vaiheittain

Tässä osassa käydään läpi eri vaiheet toteutettavassa kohteessa kaupantekohetkestä  
valmiin suojatilan käyttöön ottoon asti. Vaiheistuksessa esitellään tarkat vaiheet toteu-  
tetun kohteen avulla.

### 7.6.1 Rakennushankkeen aloitus

Pääsuunnitelmien mukaisesti määritellään kohteeseen väestönsuoja. Kun pääurakoitsija on valittu kohteeseen, määritellään väestönsuojan tekotapa. Elementtirakenteiselle väestönsuojalle vaihtoehtoinen rakenne on normaali paikallavalurakenne.

Jos väestönsuojan muoto ja päämitat soveltuvat elementtirakenteiseen suojaan ja hankkeen osapuolten suostumus on saatu, voidaan aloittaa neuvottelut elementtien toimittajan kanssa. Elementtirakenteisen suojan rajoittavia tekijöitä ovat esimerkiksi liian suuret jännevälit, ylisuuret kuormitukset tai kohteen kireät aikataulut. Toteutettavassa rakennuskohteessa väestönsuojan mitat olivat optimaaliset elementtirakenteiden kannalta.

### 7.6.2 Tilaus

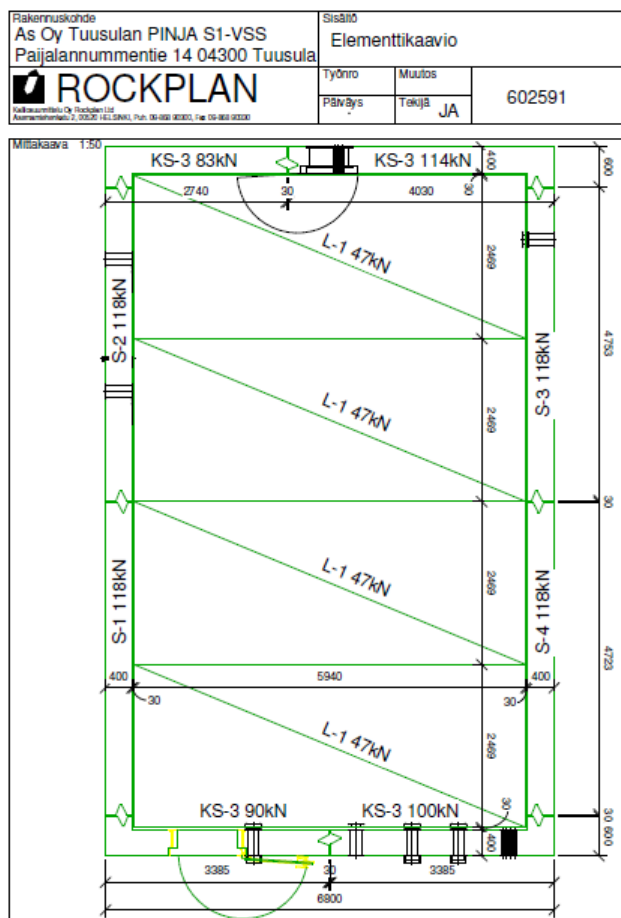
Kun elementtien toimittaja ja tilaaja ovat päässeet sopimukseen toteutettavan kohteen määristä, hinnasta ja aikataulusta, laaditaan tilausvahvistus. Siinä esitetään elementtien lukumäärät, elementteihin sijoitettavat varusteet, suunnitelmien valmistuspäivämäärät, tilauksen toimittaminen rakennustyömaalle, keskeisten henkilöiden yhteistiedot sekä lähtötietojen toimittaminen suunnitteluorganisaatiolle. Tilauksen tekee normaalissa hankkeessa pääurakoitsija.

Tilauksen saatuaan toimittaja antaa tarvittavat tiedot elementtien suunnitteluorganisaatiolle. Kohteen vastuunalainen elementtisuunnittelija resursoi henkilöstön ja aikatauluttaa suunnittelutyön saatujen tietojen perusteella.

### 7.6.3 Suunnittelun aloitus, lähtötiedot ja elementtikaavio

Suunnittelutyö lähtee käyntiin lähtötietojen varmistamisesta. Lähtötiedot koostuvat pääsuunnitelmista, rakennesuunnitelmista, LVIS-suunnitelmista ja väestönsuojan läpivientiosien sijoitussuunnitelmasta. Jos lähtötiedoissa on ristiriitoja, ne selvitetään ennen elementtisuunnittelutyön jatkamista.

Ristiriidattomien lähtötietojen perusteella suunnittelija tekee alustavan mitoituksen. Mitoituksen pohjalta tehdään elementtikaavio. Siinä esitetään suojan pohjapiirustus, jossa on esitetty elementtien saumat, päämitat, kuormitustiedot ja aukkojen sijainnit. Tämän jälkeen elementtikaavio hyväksytetään tehtaalla. Kuvassa 15 on esitetty PIN-JA:n hyväksytetty elementtikaavio. Tarpeen mukaan kaavio muutetaan, jos tehtaalla vastuuhenkilöt näkevät siihen tarvetta tuotannon näkökulmasta.



Kuva 15. Pilottihankkeessa käytetyn kohteen elementtikaavio.

Väestönsuojaan voidaan tehdä tässä vaiheessa vielä pieniä muutoksia, jos sillä saavutetaan tehtaantuo-  
tanta- ja tuotantotietojärjestelmään tai rakennusprojektiin taloudellisia hyötyjä. Tä-  
hän tarvitaan luonnollisesti kaikkien osapuolien hyväksyntä.

Lopulta suunnittelutyö on edennyt siihen vaiheeseen, että elementtien liitos perustuk-  
siin on selvillä. Suunnittelija on tällöin yhteydessä pääurakoitsijaan ja esittää element-  
tien alaosa-liitosdetaljin. Tämän perusteella urakoitsija voi tehdä kohteen perustukset  
ristiriidattomasti valmiiksi ennen elementtien saapumista työmaalle.

#### 7.6.4 Elementtien mitoitus

Elementtikaavion hyväksynnän jälkeen voidaan aloittaa varsinainen elementtien mi-  
toitus. Mitoituksessa käytetään voimassa olevia asetuksia, joiden perusteella määritel-  
lään määräävät kuormitustapaukset. Kuormitukset ja suunnittelutyöhön liittyvät eril-  
lismääräykset esitetään tarkasti väestönsuojien teknisissä oppaissa.

Mitoitettava rakenne on kehä suojan lyhyemmän sivun suuntaisesti. Mitoituksessa oletetaan, että katto- ja seinäelementin liittyvät toisiinsa jäykästi. Anturan ja seinän välinen liitos oletetaan mitoituksessa nivelelliseksi. Laatat oletetaan yhteen suuntaan kantaviksi. Suojan pitemmän sivun suuntaisen seinän ja laatan liitos oletetaan nivelelliseksi tai osittain jäykäksi tapauksesta riippuen.

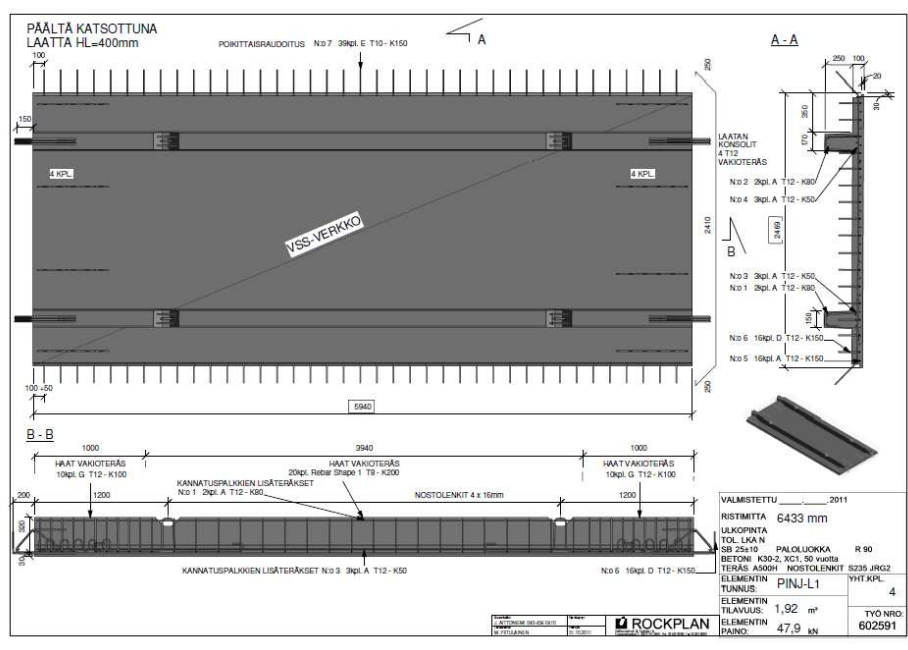
Kuormitukset jaetaan normaalin käytön aikaisiin kuormiin ja kriisitilanteen aikaisiin kuormituksiin. Normaalin käyttöön määriteltujen kuormien osalta noudatetaan Suomen rakennusmääräyskokoelman mukaisia kuormia ja kuormitustapauksia. Suojatilanteessa kuormitukset koostuvat omanpainon lisäksi sisäisestä ja ulkoisesta painekuormasta ja tärähdyskuormasta. Kuormien suuruus riippuu mitoittettavan suojan luokasta ja kuorman vaikutussuunnasta. Myös ympäröivien rakennusten sortumatilanne tulee huomioida mitoituksessa.

Toteutetun kohteen pohjaratkaisu oli suorakaide. Tämän vuoksi mitoituksen osalta voitiin käyttää perustapauksen kehämitoitusta ja pitkän sivun suuntaisen seinän nivelliitosta. Lisäksi kohde varustettiin sortumalaatalla. Sortumalaatta mitoitetään uloke-laattana. Toteutetun kohteen mitoitusta voidaan luonnehtia tavanomaiseksi S1-luokan väestönsuoja mitoituksellisesti.

Mitoituksesta laaditaan rakennelaskelmat, joissa on esitetty kohteen kuormat, kuormitustapaukset ja rauditusmitoitukset. Rakennelaskelmat toimitetaan rakennushankkeen vastaavalle rakennesuunnittelijalle, joka toimittaa ne eteenpäin rakennusvalvontavirastoon. Kunkin kohteen nimetty rakennusvalvontaviraston valvoja tarkastaa ja hyväksyy suunnitelmat tapauskohtaisesti. Tarvittaessa tehdään laskelmista tarkentavia lisäselvityksiä osapuolten käyttöön.

#### 7.6.5 Tarvittavat piirustukset ja luettelot

Mitoituksen perusteella valmistetaan elementtipiirustukset. Jokaisesta elementistä tulee tehdä suunnitelma, jossa esitetään elementin naamakuva, leikkaukset kahteen suuntaan, nimiötiedot, materiaalitiedot ja rauditustiedot. Elementtisuunnitelmiin on vakiintunut elementin esitystapa, joka on esitetty kuvassa 16. Esitystapaa pyrittiin noudattamaan myös pilottihankkeen tietomallintamisessa. Elementtipiirustukset pyritään tekemään paperikoolla A3, jotta suunnitelmien paperiversioiden käsittely työmaalla on mahdollisimman helppoa.



Kuva 16. Toteutetun kohteen kuorilaatan elementtipiirustus.

Elementtipiirustuksen lisäksi jokaisesta suojasta tehdään leikkaukset. Yksi leikkaus tulee olla sisäänkäyntioven kohdalta. Sisäänkäynnin ympäristö pitää selvittää tarkasti osapuolille, jotta mahdolliset ristiriidat tulevat selville mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Leikkaukset tehdään käyttäen paperikokoja A4 tai A3 esitystavasta riippuen.

Jokaiseen väestönsuojakohteeseen tehdään myös detaljipiirustussarja. Siinä esitetään kohteen liitosten detaljit. Myös sauma- ja pieliteräkset ja niiden sijoittelu esitetään detaljeissa. Detaljit tulostetaan paperikoossa A4.

Näiden piirustusten lisäksi tehdään raudoituspiirustus yläpohjan paikallavalulaatasta. Raudoituspiirustus tehdään paperikoolla A3 elementtipiirustusten tapaan. Raudoituspiirustuksessa pohjapiirustuksen lisäksi esitetään raudoitusluettelo. Luettelossa esitetään raudoitteiden positiointi, lukumäärät, pituudet, taivutustyyppit, paksuudet ja painotiedot kilogrammoina.

Kaikista näistä suunnitelmista lähetetään kopiosarjat elementtitehtaalte ja pääurakoitsijalle. Lisäksi ns. leimasarja lähetetään vastaavalle rakennesuunnittelijalle, joka toimittaa sarjat eteenpäin kohteen valvojalle rakennusvalvontavirastoon. Rakennusvalvontavirastossa suunnitelmat hyväksytään ja arkistoidaan asianmukaisesti.

Elementtipiirustuksiin voidaan tehdä erillinen raudoitusluettelointi jokaisen elementin osalta. Käytännöstä tästä on kuitenkin luovuttu, koska työtä pidetään yleisesti liian aikaa vievänä. Tällöin raudoitteiden määrittely siirtyy elementtitehtaalte raudoittajan vastuulle. Raudoittaja laskee tarvittavat raudoitteet manuaalisesti jokaisesta elementti-

suunnitelmasta.

Tuotemallintamisen kautta voidaan luettelointi tehdä pienellä vaivalla ja viedä tieto suunnitelmiin kilpailukykyisesti suunnittelutyötä kuormittamatta. Luettelointi on yksi keskeisistä asioista miksi tuotemallintamista kokeiltiin väestönsuojaelementtien suunnittelussa. Tätä asiaa käydään läpi tarkemmin kohdassa 7.7.5.

#### 7.6.6 Elementtien valmistus tehtaalla

Kun tarvittavat suunnitelmat on saatu valmiiksi, ne toimitetaan elementtitehtaalle. Suunnitelmien toimitus tapahtuu sähköisesti sähköpostin välityksellä. Suunnitelmat viedään tuotantolinjan vastuuhenkilöiden käytettäväksi. Elementtien valmistaminen lähtee käyntiin muottirakenteiden valmisteluilla. Lisäksi saatujen suunnitelmien perusteella voidaan tarkentaa elementtien toimittamisen ja siirtämisen suunnittelu tehtaalta työmaalle.

Raudoittaja laskee teräsmäärät ja määrittelee tankojen taivutustyyppit, jonka jälkeen tiedot siirretään raudoituskoneelle. Raudoituskone valmistaa määrätyt terästangot, jonka jälkeen raudoiteniput siirretään muottialueelle. Raudoitteiden laskeminen ja syöttäminen raudoituskoneelle työllistää yhden henkilön täyspäiväisesti joka päivä vuoden aikana.

Elementit valmistetaan teräsmuottia vasten. Teräsmuotilla saadaan laadukas pinta tasaisissa olosuhteissa. Teräsmuottiin asennetaan lyhyiden sivujen teräs- ja puumuotit, joissa on raudoitteille varatut paikat. Tämän jälkeen asetetaan elementin läpivientiosat ja erilliset tartuntaraudoitteet, jos suunnitelmiin on näin merkitty. Raudoitteet asetetaan suunnitelmien mukaisesti paikoilleen ja lisätään vielä yläpintaan tarvittavat tartuntateräsosot ja upotukset tarvittaessa. Kuvassa 17 on esitetty kuinka VSS-luukku asennetaan tarkasti vaakatasoon ennen valutöitä.





Kuva 17. Kulmaelementtiin asennettu suojaluukku ja raudoitus ennen valua.

Raudoitteiden, läpivientien ja teräsosien asennusten jälkeen suoritetaan elementin valuu. Käytettävän betonin ominaisuudet määritellään suunnitelmissa. Valussa käytetään itsestään tiivistyvää betonimassaa, jolla vältetään vibraamisesta aiheutuva lisätyö. Valun jälkeen elementin yläpinta käsitellään suunnitelmissa esitetyllä tavalla. Pintakäsittely riippuu tuleeko yläpinta näkyviin lopullisessa rakenteessa. Jos pinta tulee näkyviin yläpinta telataan, ja jos pinta ei näy lopullisessa rakenteessa, pinta puuhierretään. Kuorilaatoissa yläpinta yleensä karhennetaan, jotta saadaan mahdollisimman hyvä tartunta työmaalla tehtävään paikallavalulaattaan.



Kuva 18. VSS-elementin valutyö käynnissä.

Valun jälkeen elementin betonimassan annetaan kovettua ja tehdään asian mukaiset jälkihoitotoimenpiteet. Elementin saavutettua tarvittava lujuus muotit voidaan poistaa. Elementteihin suoritetaan jälkitarkastus ja putsaus, jonka jälkeen väestönsuojaelementit siirretään lastausalueelle. Kuvassa 19 on esitetty kohteen putsattu VSS-ovella ja -tekniikkaläpivienneillä varustettu kulmaelementti



Kuva 19. Valmis kulmaelementti valmiina lastaukseen.

#### 7.6.7 Elementin siirto työmaalle

Kun elementit on siirretty kuljetusajoneuvoihin, jokainen lasti punnitaan tarkasti. Tällä pyritään välttämään lastin ylikuormaaminen. Suunnitelmissa on esitetty jokaisen elementin aiheuttama kuormitus. Suunnitelmiin merkitty kuorma perustuu käsin laskentaan ja taulukkolaskentasovelluksiin, joten todellinen lastin kuorma ja suunniteltu kuorma eivät välttämättä täsmää tarkasti.

Lastaaminen pyritään tekemään mahdollisimman tarkasti kuljetuskustannukset minimoiden. Tuotemallintamisen kautta pyritään tuomaan kuormitustietoihin lisätarkkuutta ja sitä kautta elementtituotantoon kustannustehokkuutta.

Lastaamisen jälkeen elementit kuljetetaan työmaalle asennusryhmän käytettäväksi sovitettuun päivämäärään mennessä. Työmaaajohto esittää elementtien lastauspaikat työ-



maa-alueella.

#### 7.6.8 Elementtien asennustyö

Tehtaalta tuodut elementit asennetaan elementtikaavion mukaisille paikoille nostokaluksella apuna käyttäen. Sijoittelu tehdään tarkasti ja elementit tuetaan teräksisten tukitolppien avulla paikoilleen, kuten kuvassa 20 on havaittavissa. Liitokset lukitaan lopullisesti jälkivalutekniikalla. Jälkivalussa käytetään juotosbetonia, jonka lujuusluokka on C30/35.



Kuva 20. Elementtien asennustyö käynnissä.

Seinäelementit asennetaan ensimmäisenä pääurakoitsijan toimesta tehtyjen perustusten varaan. Niiden päälle asennetaan yläpohjan kuorilaatat ja mahdolliset sortumalaatat. Lopuksi asennetaan varauoskäytäväelementti ja suoritetaan yläpohjalaatan paikallavalu raudoituksien asentamisen jälkeen. Paikallavalun jälkihoito ja juotosbetonin suoritetaan yleisen ohjeistuksen mukaisesti kastelulla ja/tai erillisiä jälkihoitotuotteita käyttäen.

### 7.7 Kohteen tietomallintamisen kuvaus

#### 7.7.1 Päämäärät ja tavoitteet

Teräsbetonielementtien käyttö yleistyy kotimaisessa talo- ja infrarakentamisessa vuosi vuodelta. Rakennuselementtien suuri menekki mahdollistaa suunnittelujärjestelmien kehittämisen tuotannollisempaan suuntaan. Tietomallintamisen edut tulevat esille erityisesti usein toistuvissa rakenteissa kuten teräsbetonielementeissä. Väestösuoja-

mentin perusmuoto pysyy samana niin seinäelementeissä kuin laattaelementeissä. Tämän vuoksi teräsbetonisten väestönsuojaelementtien tietomallintamisessa nähdään tuotannollisia kehittymismahdollisuuksia.

Ensimmäinen ja tärkein tavoite on kokea millaisia hyötyjä ja mahdollisuuksia elementtien tietomallintaminen antaa suunnittelutyöhön. Tietomallintamisessa ei ole yhtä oikeaa tapaa vaan menetelmiä on lukuisia. Kaikki menetelmät eivät sovellu tämän tyyppisten elementtien suunnitteluun. Kohteen avulla saadaan tietoa millainen menetelmä on toimivin väestönsuojaelementtejä suunniteltaessa käytettävällä ohjelmistolla. Menetelmän tärkeä tarkastelukriteeri on, miten menetelmä soveltuu tehtaan tuotantoprosessiin.

Toinen tärkeä selvitettävä asia liittyy itse ohjelman käyttöön. Opinnäytetyössä tulee selvittää ohjelmiston ja suunnittelukäytännön luotettavuus ja toimivuus kyseisessä suunnittelutyössä. Kehitystehtävän edetessä saadaan selville millaisia riskejä ja epävarmuustekijöitä eri toimintatavat tuovat suunnitteluun ja kuinka se heijastuu elementtien valmistukseen.

Kolmas selvitettävä asia on menetelmän taloudellinen arviointi kehitystehtävän perusteella. Uusien suunnittelumenetelmien sisään ajo itsessään kasvattaa hankkeisiin varattuja kuluja. Myös tietomallintamisen työmäärä normaaliin suunnittelu- ja piirtotyöhön oletetaan kasvavan. Kehityshankkeen kautta saadaan tietoa millaisia lisätehtäviä menetelmä aiheuttaa ja mikä on niiden todellinen eroavuus taloudellisesti nykyisin käytettävään järjestelmään. Tietomallintamisen perusidea on siirtää tuotannollisia tehtäviä suunnittelutyöhön. Taloudellisessa tarkastelussa verrataan olemassa olevan suunnittelujärjestelmän aiheuttamia kuluja ja verrataan niitä kehitystehtävässä saatuihin tuloksiin.

### 7.7.2 Käytettävät ohjelmistot

Tietomallintamisessa käytetty ohjelmiston on AutoCad Revit Structure 2011. Ohjelma on maailman laajuisesti käytössä oleva tietomallinnusohjelma. Ohjelma on julkaistu useilla eri kielillä. Suomessa sen käyttö on kasvamassa eri suunnittelualojen keskuudessa.

Ohjelman on valittu suunnittelutyöhön siksi, että se mahdollistaa yhteistyön eri toimialojen välillä, kuten LVIS- ja arkkitehtitoimialoihin. Toisin sanoen tuotteen ohjelmistoperhe on kattava. Mainittakoon se, että tässä hankkeessa ei olla yhteydessä muihin suunnittelutoimialoihin tietomallin osalta. Lisäksi rakennesuunnittelussa on tärkeää, että ohjelmasta saadaan siirrettyä tietoa eri statiikkalaskentaohjelmien käyttöön. Revitissä on tämä mahdollista melko saumattomasti.

Revit Structuren lisäksi suunnittelutyössä ja suunnitelmien havainnollistamisessa on käytetty katselu- ja mitoitusohjelmaa Autodesk Desing Review 2012. Ohjelma on ke-

vyt ja selkeä käytettävä tilanteissa, joissa suunnitelmia tulee esitellä paikoissa, joissa ei ole käytettävissä kattavia tietokonejärjestelmiä. Tällaisia olosuhteita on esimerkiksi rakennusten työmaat tai tehdasympäristö. Ohjelmalla pystytään esimerkiksi merkitsemään malliin eri osapuolten huomautuksia teksteinä ja merkkeinä. Sillä voidaan myös ottaa mallista pää- ja osamittoja. Lisäksi malliin syötetyt materiaalitiedot on saatavilla näkyviin katseluohjelmassa.

Statiikkalaskentaan on käytetty Robot Structure – ohjelmaa. Statiikan laskeminen ei ole olennainen osa tätä tuotemallinnuskokeilua. Tarvittaessa käytettävästä tietomallinnusohjelmasta saadaan rakenteiden tarvittavat tiedot tähän statiikkalaskentaohjelmaan.

### 7.7.3 Elementtien betoniosuuden mallintaminen

Toimintamallin valintaan vaikutti se, että elementtitehtaalle menevien suunnitelmien esitystapa muistutti mahdollisimman paljon olemassa olevan suunnittelukäytännössä käytettäviä esitystapoja. Koska kysymyksessä oli todellinen tuotantoon menevä kohde, ei kehityshankkeessa haluttu ottaa ylimääräisiä riskejä, jotka aiheuttaisivat sekaannusta ja väärinymmärrystä elementtitehtaan tuotantoketjussa.

Edellä mainittu asia havainnollistuu elementtikaavion tekemisessä. Lähtötietojen tarkastamisen jälkeen suunnittelija tekee elementtikaavion, joka hyväksytetään elementtitehtaalla. Kaavio tehtiin tietomalliin tasokuvana, johon lisättiin tarvittavat tiedot tekstinä. Tämä toimintatapa ei juurikaan eroa olemassa olevasta suunnittelukäytännöstä. Tämä tapa on tehokas ja luotettava. Lisäksi tasopiirretty kaavio toimii selkeänä lähtökohtana elementtien kolmiulotteiseen mallintamiseen.

Elementtikaavion hyväksymisen jälkeen aloitettiin suorien seinäelementtien mallintaminen. Kaavion laadinnassa pyrittiin siihen, että suorat elementtiosuudet ovat päämitoiltaan toistensa kaltaisia. Ainoastaan elementteihin sijoitettavat läpivientiosat, teräsosartunnat ja upotukset olivat asioita, jotka erottivat elementit toisistaan. Läpivientiosien vuoksi rakenneterästen sijoittelu poikkesi osaltaan elementtikohtaisesti suorienkin elementtien osalta. Seinäelementtien korkeus oli jokaisessa elementissä sama, mukaan lukien kulmaelementit.

Neljän kulmaelementin päämitoissa oli enemmän eroja. Jokainen kulmaelementti poikkesi toisestaan pitemmän sivun leveyden osalta. Tämän lisäksi sekä VSS-luukku, että VSS-ovi sijoituivat juuri kahteen kulmaelementtiin. Kulmaelementtien mallintamisessa kokeiltiin kahta erilaista tapaa. Ensimmäinen tapa oli liittää kaksi jo tehtyä suoraa elementtiä yhdeksi ja lyhentää elementtien sivumitat oikeaksi. Toinen tapa oli tehdä elementin sivuprofiilin mukainen muotti, joka ohjattiin noudattamaan L:n muotoista vaakasuoraa linjaa. L-kirjaimen muotoisen linjan sivumitat olivat kulmaelementin seinämien leveyden kanssa identtiset. Esitetyistä tavoista jälkimmäinen todettiin tehokkaammaksi ja luotettavammaksi.

Läpivientiosien valmistajalta saatavien väestönsuojaan liittyvien valmiiden läpivientienobjektien saaminen malliin ei ollut mahdollista. Läpivientiosien toimittajalla oli valmiit ifc-tiedostomuotoa olevat objektit kohteen mallinnustyötä tehdessä, mutta niiden käyttö ei ollut luvallista. Objektien kehitystyö oli toimittajan mukaan vielä kesken. Tämän vuoksi läpivientienobjektit tehtiin mallinnusohjelman omalla työkalulla. Objektien luonnissa huomioitiin ainoastaan tuotemallintamisen kannalta tärkeimmät ominaisuudet. Nämä ominaisuudet olivat painotiedot ja läpivientiosien syrjäyttämät betonitilavuudet sekä läpivientiosien päämitat.

Väestönsuojaelementteihin asennettiin erillinen puurakenteinen ulkoseinäelementti, jos ne olivat osana ulkoseinä rakennetta. Tämän vuoksi elementteihin tuli asentaa erillinen tartuntateräsosa. Toisin kuin VSS-läpivientiosien toimittajalla, tartuntateräsosatoimittajalla oli kattava objektkirjasto suunnittelijoiden käytettäväksi. Tartuntateräsosien sijoittelu elementteihin pystyttiin tekemään tarkasti. Objekteista saatu tieto oli täsmällistä ja kattavaa. Tiedoista kävi ilmi mm. teräsosien pää- ja osamitat, tuotenimikkeet, valmistajat ja tilaustiedot. Osat ja niiden tiedot pystyttiin luetteloimaan ohjelmassa elementtikohtaisesti. Valmistajan internetsivujen kautta halutut objektit olivat ladattavissa mallinnusohjelmaan yksikertaisesti.

Neljä kuorilaatta olivat täsmälleen samanlaisia. Niihin ei tullut erillisiä valmisteräsosia tai läpivientikappaleita. Muodoiltaan kuorielementit olivat seinäelementtejä haastavampia mallintaa. Tämä johtui kuorilaattojen nostolenkkien kohdalla olevista upotuksista ja reunojen epäsäännöllisistä pinnoista.

Sortumalaatta edusti mallinnettavien elementtien osalta yksinkertaisinta muotoa. Laatta oli suorakulmaisen särmiön muotoinen elementti, johon sijoitettiin säännöllinen rauditus. Kuten yläpohjan kuorilaatassakin, sortumalaatassa ei ollut erillisiä valmisteräsosia tai läpivientikappaleita.

Yläpohjan yhtenäisen paikallavaluosuuden mallintamisessa käytettiin erilaisia työskentelytapoja. Elementtien rajaama alue niin sanotusti pursotettiin täyteen betonimassaa. Tämä toiminto osoittautui kuitenkin epäluotettavaksi määrien ja tilavuuksien suhteen. Toinen tapa oli mallintaa paikallavaluosuus tarkasti yhtenäisenä ja epäsäännöllisenä kappaleena muiden elementtien pintojen mukaisesti kuorielementtien tapaan. Jälkimmäinen tapa oli työläämpi, mutta luotettavampi ja tarkempi kuin ensimmäisenä esitelty tapa.

#### 7.7.4 Elementtien raudoitteiden mallintaminen

Elementtejä käsitellään tehtaan tuotantolinjassa yksitellen raudoituksen ja valutyön suhteen. Kylläkin pitää huomioida että, saman kohteen elementeissä on tiettyjä samankaltaisuuksia muottityön ja raudoituksen kanssa, joista saadaan hyötyä tuotannonollisuuden kannalta. Mutta elementtitehtaan kannalta ei juuri ole merkitystä käsitellä

kohdetta kokonaisena yksikkönä ennen elementtien lastaamista työmaalle ja asennustyötä.

Tämän vuoksi elementtien raudoituksen mallinnustyö tehtiin myös elementtikohtaisesti, jotta saatiin selkeä ja tarkka tieto jokaisesta elementistä. Jos kaikkien elementtien raudoitteiden mallinnus olisi tehty yhdessä mallissa, olisi ollut vaarana tehdä se, että raudoitustietojen sekaantumista olisi tapahtunut eri elementtien kesken. Kuten aikaisemmin on mainittu, kysymyksessä oli toteutettava kohde ja kaikkia mahdollisia riskejä haluttiin välttää.

Ohjelmassa jokainen raudoiteryhmä oli sidottu yhteen elementtiin. Huomioitavaa oli, että raudoiteryhmiä ei voitu ohjelmassa suoraan kopioida elementistä toiseen. Raudoitteeseen oli mahdollista syöttää haluttuja tietoja perustietojen lisäksi. Yksittäisen raudoitteen perustietoina voidaan mainita halkaisija, pituus, materiaalitiedot ja taivutustyyppi. Rauditusryhmän oleellisia perustietoja ovat ryhmän tunnus, lukumäärä ja ryhmän tankojen kokonaispituus.

Toisin kuin elementtien mallintamisessa, raudoitteiden esitystavassa oli valmiita Suomessa käytettävän esitystavan mukaisia ominaisuuksia. Ohjelman raudoitteobjektien sisään oli määritelty tietoja, joiden perusteella raudoitteet voitiin sijoittaa kuhunkin elementtiin. Nämä tiedot olivat materiaali, taivutustyyppi ja tangon halkaisija. Tietyn tyyppinen tanko sijoitettiin tarkasti paikoilleen. Tämä jälkeen tangon pituus tai osapituudet määriteltiin ja syötettiin tankoryhmän jakoväli tai haluttu määrä. Nämä tiedot tulivat mitoituksen kautta. Ohjelmassa oli mahdollista antaa elementin haluttu betonisuojapeite, jonka mukaan ohjelma määritteli suoraan tankopituuden tarkasti.

Elementtien raudoitteet jaettiin kahteen tyyppiin: vakioraudoitteeseen ja uuteen raudoitteeseen. Vakioraudoite oli taivutettu tai suora tanko, joka toistuu jokaisessa elementissä kohteesta riippumatta. Vakioraudoitteita tehdään tehtäällä varastoon valmiiksi. Tällaisia ovat nostolenkit, tietyt saumaraudoitteet ja asennusaikaiset tukiraudoitteet. Uusi raudoite on elementtikohtainen, jotka määritellään elementin mitoituksen ja muodon kautta.

Näillä kahdella tyyppillä on suuri merkitys raudoitteiden esitystavassa elementtisuunnitelmissa. Jos kysymyksessä oli vakioraudoite, sen syötettävät tiedot olivat hyvin pelkistetyt. Käytännössä riitti tieto, että kysymyksessä oli tietty vakioraudoite. Tehtaan työntekijät tunnistivat raudoitteen ilman erillisiä tietoja. Tämä myös tarkoitti sitä, ettei vakioraudoitteita luetteloitu yhdessä ns. uusiin raudoitteisiin. Vakioraudoitteet esitettiin elementtisuunnitelmassa ja niihin liitettiin asianmukainen teksti ilmaisemaan kyseisen raudan tyyppiä. Itse tuotemallissa raudoitteen tiedot olivat saatavilla uusien raudoitteiden tapaan. Tietoihin kuuluivat mm. tankopaksuus, määrä jakoväli, pituus, paino ja taivutustyyppi.

Sen sijaan kun ns. uusi raudoite esitettiin elementtisuunnitelmassa, siihen liitettiin piirustuksessa enemmän tietoja. Jokainen raudoiteryhmälle annettiin tunniste. Jokaisen



tangon halkaisija, taivutustyyppi, jakoväli ja pituustiedot esitettiin elementtisuunnitelmassa. Myös niiden tarkka sijainti pyrittiin esittämään leikkauksissa ja naamakuvissa, niin ettei niiden sijoittelussa ollut väärin käsityksen vaaraa.

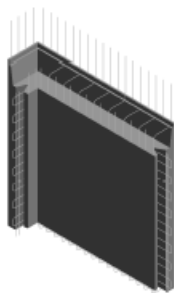
#### 7.7.5 Luetteloiden laadinta

Raudoiteryhmän numeroinnin perusteella raudoitteet luettelointiin selkeään järjestykseen. Järjestyksen periaatteena oli luetteloida ensimmäisenä raudoitusryhmä tangon halkaisijan perusteella, niin, että ensimmäisenä tulivat halkaisijaltaan pienimmät tangot. Tämän jälkeen järjestyksen määritteli tankoryhmän taivutustyyppi. Ensimmäisenä luettelointiin taivutustyyppin A ryhmät, sitten B ryhmät jne... Kuvassa 21 on esitetty luettelon esitystapa, jota käytettiin toteutetussa kohteessa.

Raudoiteryhmien järjestyksen valintaperiaate määräytyi elementtitehtaan tuotantojärjestelyiden perusteella. Oli selkeää ajaa raudoituskoneelta ensimmäisenä tiettyä halkaisijaa olevat raudoitteet ja tämän jälkeen määrittellä tankojen taivutustyyppit selkeässä järjestyksessä.

Ainoastaan ns. uudet raudoitteet luettelointiin. Vakioraudoitteiden tietoja ei haluttu sekoittaa elementtikohtaisten uusien raudoitteiden kanssa. Tässä jako oli hyvin selkeä, eikä tuotannollisia riskejä haluttu ottaa.

TERÄSLUETTELO KS-3										
N:o	Tangon halkaisija	Taivutus tyyppi	KPL	a	b	c	d	L	Jako	Tankopituus yhteensä
1	10	A	2	2490	0	0	0	2490	50	4980
2	10	D	8	300	320	300	0	920	300	6904
3	12	A	4	3490	0	0	0	3490	150	13960
4	12	A	18	3490	0	0	0	3490	150	62820
5	10	A	2	2490	0	0	0	2490	50	4980
6	10	D	8	300	330	300	0	930	300	7074
7	12	A	8	2670	0	0	0	2670	300	21360
8	12	D	8	2635	360	820	0	3615	300	28343
9	12	A	2	2680	0	0	0	2680	150	5360
10	10	A	16	2670	0	0	0	2670	150	42720
11	10	B	19	2680	540	0	0	3220	150	60745
12	12	D	16	500	350	500	0	1350	150	20447
13	12	A	1	2670	0	0	0	2670	1	2670
14	10	D	1	450	150	450	0	1050	150	1004
14	10	D	1	450	150	450	0	1050	150	1004
14	10	D	1	450	150	450	0	1050	150	1004
14	10	D	1	450	150	450	0	1050	150	1004
14	10	D	1	450	150	450	0	1050	150	1004
14	10	D	1	450	150	450	0	1050	150	1004
14	10	D	1	450	150	450	0	1050	150	1004
14	10	D	1	450	150	450	0	1050	150	1004



Kuva 21. Kulmaelementin raudoitusluettelo.

Raudoitusluettelot olivat elementtikohtaisia. Suorilla seinäelementeillä luettelot mahtuivat A4 paperikoon. Aukollisilla kulmaelementeillä raudoiteryhmien määrä oli suurempi. Näiden elementtien raudoitusluetteloissa käytettiin paperikokoa A3. Luukun tai oviaukon kulma- ja pieliteräkset kasvattivat raudoiteryhmien määrää. Aukon ympärille muodostui paljon yksittäisiä raudoitteita, jotka kasvattivat luettelon kokoa.

Elementeistä tehtiin erillinen elementtiluettelo. Luettelon esitystavassa pyrittiin säilyttämään elementtitehtaassa käytettävä taulukkomainen esitystapa. Normaaliassa käytännössä luettelo täytettiin taulukkolaskentaohjelmassa käsin suunnitelmien perusteella. Tuotemallipohjaisen suunnittelun avulla tämä taulukko saatiin suoraan ohjelmasta ilman erillistä käsin laskentaa. Mallinnusohjelmassa luettelo piti muokata niin, että siirto taulukkolaskentaohjelmaan tapahtui ilman ristiriitoja elementtitehtaalla käytettävän järjestelmän kanssa. Luettelon siirto mallinnusohjelmasta taulukkolaskentaohjelmaan oli vaivatonta. Elementtitehtaalla taulukkolaskentaa käytettiin mm. kausikohtaisten määrien ja tilastoinnin apuvälineenä.

Mallinnusohjelman taulukkoon pystytettiin myös luomaan omia laskentakaavoja. Ohjelmassa oli valmiiksi paljon ennalta määriteltyjä elementtiominaisuuksia taulukoitavaksi. Tällaisia olivat esimerkiksi tilavuus, päämitat, pinta-alat ja materiaali. Jotkin ominaisuudet syötettiin mallinnuksen yhteydessä, kuten materiaali. Laskentakaavojen avulla voitiin esitellä elementtitaulukkoon tietoja, joita ei kannattanut määritellä erikseen. Tällaisia tietoja olivat esimerkiksi elementin ristimitta ja kokonaispainotiedot. Kokonaispaino määräytyi elementin betoniosuuden painon, teräsosien painon ja elementin läpivientiosien painojen yhteen lasketusta painosta.

Esivalmistettujen teräsosavalmistajien tekemien objektien luettelointi pystytettiin myös tekemään vaivattomasti. Niistä tehtävä materiaalitaulukko muokattiin sellaiseksi, että siinä esitettiin kaikki tarvittava tieto elementtitehtaan kannalta. Itse tuotantoon luettelointi ei ollut tarpeen, koska teräsosan tarvittavat tiedot voitiin esittää suoraan elementtipiirustuksessa.

### 7.8 Suunnittelutyön taloudellinen tarkastelu

Suunnittelutyön osalta taloudellinen vertailutarkastelu esitetään olemassa olevan elementtisuunnittelukäytännön ja tässä kehitystyössä esitettävän tietomallipohjaisen suunnittelutyön välillä. Taloudellisen tarkastelun lähtökohtainen epävarmuutta kasvattava tekijä tässä kohteessa oli tietomallipohjaisen suunnittelun suuri kehitystyön määrä. Lisäksi tulee muistaa, että olemassa olevan järjestelmän kautta suunnittelutyölle on kehittynyt taloudellisesti tehokas suunnittelurutiini. Toteutettavien kohteiden myötä myös tietomallipohjaiselle elementtisuunnittelulle kehittyy rutiini, jonka kautta työhön saadaan parempi lopputulos niin laadullisesti kuin ajan käytönkin suhteen.

#### 7.8.1 Suunnitteluosa-alueiden tarkastelu

Olemassa olevan suunnittelu työn ajallinen kokonaisuus koostuu viidestä eri osasta. Lähtötietojen selvitystyöhön ja ristiriidattomuuden tarkasteluun tämän kokoisessa kohteessa menee noin kolme tuntia niin olemassa olevassa järjestelmässä kuin tuotemallipohjaisessa suunnittelujärjestelmässä. Sama pätee myös rakennelaskelmien laatimiseen, joihin voidaan laskea viiden tunnin työpanos esitetyn kohteen kokoisessa suunnitteluprojektissa.

Elementtien ja raudoitteiden suunnittelu- ja piirtotyössä olemassa olevassa suunnittelumenetelmässä aikaa menee noin 17 tuntia. Tässä suunnitteluosa-alueessa saadaan suurin ero toimitapojen välillä. Tietomallipohjaisessa suunnittelussa elementtien suunnittelu ja mallintaminen sekä raudoitteiden sijoittelu venyy melkein puolitoista kertaiseksi. Toteutunut aika tähän osa-alueeseen oli noin 25 tuntia, kun käytettiin tietomallipohjaista suunnittelua. Tähän suunnittelu osa-alueeseen sisällytetään myös taulukoiden muokkaus ja järjestelytyö.

Detaljien ja rakenneleikkausten tekoon olemassa olevassa järjestelmässä voidaan päästä keskimäärin 13 tunnin ajalliseen työpanokseen. Tämä johtuu siitä, että jo tehtyjen kohteiden valmiita leikkauksia voidaan pienellä muokkauksella käyttää seuraavassa kohteessa. Tietomallipohjaisessa suunnittelussa leikkaukset ja detaljit saadaan esitettävään muotoon noin 15 tunnissa. Huomioitava kuitenkin on, että mallista tehtävistä leikkauksissa virheitä on vähemmän. Mallista otettavat leikkaukset ja detaljit ovat aina yksilöllisiä, joten rakenteiden ristiriidattomuus tulee tarkistettua aina kohdekohdaisesti. Systemaattinen kopiointi, joka on mahdollista olemassa olevassa järjestelmässä, ei tarkastele rakennetta yksilöllisesti.

Viimeinen osa-alue koostuu suunnitelmien laatujärjestelmän mukaisesta tarkastusprosessista ja suunnitelmien toimittamisesta kohteen osapuolille. Tässä tapauksessa ei saada suuria ajallisia eroja suunnittelutoimintatapojen välillä. Kummallakin tavalla osa-alueen ajallinen osuus on noin kolme tuntia. Laadullisesti mallin elementtien ja raudoitteiden ristiriidattomuuden tarkastelu on tietomallipohjaisessa suunnittelussa varmempaa havainnollistavien kolmiulotteisten kuvien johdosta.

## 7.8.2 Yhteenveto

Näiden osa-alueiden tarkastelun perusteella olemassa olevan menetelmän kautta tehty elementtisuunnittelutyö vie noin 41 tuntia. Toteutetun kohteen perusteella tietomallipohjaisessa suunnittelussa vastaava aika on noin 51 tuntia. Ajallisesti olemassa olevan menetelmän mukaisesti tehty suunnittelutyö vie 80% siitä ajasta, mitä menisi tietomallipohjaiseen suunnittelutyöhön. Osa-alueiden työmäärät on koottu taulukkoon 2.

Taulukko 2. Vertaileva yhteenveto vallitsevan ja tietomallipohjaisen suunnittelutyön välillä.

Suunnittelutyön osa-alue	Vallitsevan käytännön mukainen suunnittelutyö (h)	Tietomallipohjainen suunnittelutyö (h)
Lähtötietojen selvitys	3	3
Rakennelaskelmat	5	5
Elementtien suunnittelu- ja piirtotyö	17	25
Leikkaus- ja pohjapiirustusten laatiminen	13	15
Suunnitelmien tarkastus ja toimitus	3	3
<b>Yhteensä</b>	<b>41</b>	<b>51</b>

## 7.9 Tuotannossa havaitut asiat ja kommentit

Tietomallinnuksesta ja siitä saatavasta informaatiosta oli monessa kohtaan hyötyjä elementtitehtaan tuotannossa. Merkittävimmät hyödyt tulevat suunnitelmista tarpeellisen tiedon ulos saamisessa. Tällaisia ovat raudoitetiedot, tarviketiedot ja elementtitiedot. Yksi eniten avustava asia uusissa elementtikuvissa oli erillisen raudoitusluettelon saanti.

### 7.9.1 Hyötynäkökulmat

Raudoitusluettelolla elementtitehtaan tuotanto-organisaatio saisi suurimman hyödyn, kun raudoitteiden tieto saataisiin sellaiseen muotoon, että se olisi suoraan siirrettävissä raudoituskoneelle. Tämä vaatii vielä elementtitehtaan puolelta lisäselvitystä, jotta tiedetään kuinka raudoituskoneen ohjelmisto toimii. Tuotannossa havaittiin, että jo nyt esitetty raudoitusluettelo vähensi paljon työtä. Normaalisti raudoittaja joutuu käsin käymään läpi kuvasta tarvittavat raudat ja merkitsemään kuvaa, josta ne siirretään manuaalisesti raudoituskoneelle.

VSS-elementtiluettelo vähentää myös tehtaalla tehtävää käsin syöttöä. Nykyisessä järjestelmässä tarvittavat elementtiedot syötetään manuaalisesti tuotannonohjausjärjestelmään. Nyt, kun mallinnusohjelmalla on mahdollista saada suoraan oikean muotoisen elementtiluettelo, elementtitehdas voi siirtää tiedot suoraan taulukkolaskentajärjestelmään. Näin vältetään turhalta käsin syötöltä. Esimerkki kohteen taulukossa oli kaikki tarpeellinen tieto muutamia projektikohtaisia tietoja lukuun ottamatta.

Elementtikuvat olivat selkeät. Tietomallinnus kyseisellä tavalla ei tuonut suuriakaan poikkeavuuksia itse elementin valmistukseen. Tosin 3D- kuvia voidaan käyttää paremmin hyödyksi opetustilanteessa havainnollistamaan elementin valmistusta.

### 7.9.2 Lopputulos

Kokonaisuudessaan pilottihanke onnistui tavoitteissaan. Tietomallintamisen osalta saatiin uusia näkökulmia toteutettavan kohteen avulla. Saatuja kokemuksia käytetään osana suunnitteluohjeistuksen lähtötietona. Väestönsuojan asennustyö toteutui aikataulussa eikä tehtaan tuotannossa ollut havaittavissa selkeitä epäedullisia tekijöitä vaikka suunnittelutyö tehtiin kokonaisvaltaisesti uudella tavalla. Lopputulos on esitetty kuvassa 22 asennettuna valmiina julkisivun asennustöitä varten.



Kuva 22. Suunniteltu väestönsuoja asennettuna.

### 7.9.3 Kehitysideat

Jotta raudoitusluettelo palvelisi tuotantoa jatkossa parhaalla mahdollisella tavalla nykyisessä muodossa, tulisi luettelossa huomioida edellä määriteltyjä esitys- ja toimintatapoja. Esitettävät kehitysideat ovat toteutettavissa käytetyllä mallinnusohjelmalla.

Kuten taulukoiden esitystavassa pyrittiin, raudoitteet tulee olla lajiteltuna kokojen mukaan. Taivutustyyppiltään samaa tyyppiä olevat raudat tulee olla peräkkäin tai mahdollisesti samalla rivillä. Vakioraudoitteita ei luetteloidu vaan ne esitettiin piirustuksessa. Tuotannossa havaittiin, että vakioraudoitteet tulisi olla kokonaan erillisellä taulukolla helposti luettavalla paikalla esimerkiksi leikkaus- tai naamakuvan alapuolella. Tämän avulla raudoittaja pystyy erottelemaan suoraan koneelta elementtikohtaiset raudoitteet ja varastoon tehtävät vakioraudoitteet.

Raudoiteryhmä jakautuu kahdeksi tai useammaksi erilliseksi raudoiteryhmäksi aina kun jakoväli muuttuu tai jakoväliin tulee suuria hyppäyksiä. Läpivientien vuoksi raudoiteryhmän jakoväli häiriintyy. Tämä vuoksi sellainen raudoiteryhmä, jossa ainoastaan lukumäärä muuttuu, esiintyy luettelossa kahdella erillisellä rivillä. Esittämällä raudoiteryhmän menevän läpiviennin kohdalla ilman jakovälin muuttumista, saadaan luettelon esitystapaan selkeyttä. Silloin sama raudoite samalla jakovälillä esiintyy luettelossa yhdellä rivillä. Tämä aiheuttaa hyväksyttävissä olevaa epätarkkuutta tuotemallissa. Suunnittelutyön kannalta tämä esitystapa on myös nopeampi ja helpottaa raudoitteiden mallintamista.

Seinäelementin yläpään raudoitteet toimivat väetönsuojan seinä- ja laattarakenteen

työsaumaraudoitteena. Kuljetuksen tehostamisen vuoksi ne asennetaan elementtitehtaalla suoriaksi. Vasta rakennuspaikalla seinäelementin yläpään teräkset taivutetaan laattarakenteen suuntaiseksi. Tämän vuoksi seinäelementin yläpäässä olevat raudotteet tulee jatkossa mallintaa suorana.

Taulukkoa tulisi muokata vielä siten, että tietojen siirto tapahtuisin suoraan ilman erillisiä muokkauksia. Nyt muokkauksia tehtiin kohteen projektitiedoissa ja rivien asetuksissa.

Taulukko 3. Toteutetussa kohteessa käytetty taulukointimalli

N:o	Elementti	Elementin pituus	Elementin paksuus	Elementin korkeus	Sivuosan leveys	Laatan leveys	Määrä	Seinän ristimitta (m)	Laatan ristimitta (m)	Tilavuus	Kuorma ilman asennuksia (kN)	Asennusten kuorma	Kokonais kuorma (kN)
1	KS-1	3385	400	2870	600		1	4.438		3.47 m³	86.8	0.00	86.8
2	KS-2	3385	400	2870	600		1	4.438		2.65 m³	66.2	8.50	74.7
3	KS-3	2739	400	2870	600		1	3.968		2.86 m³	71.6	0.00	71.6
4	KS-4	4029	400	2870	600		1	4.947		3.89 m³	97.4	2.50	99.9
5	S-1	4723	400	2870			1	5.526		4.62 m³	115.5	0.00	115.5
6	S-2	4723	400	2870			1	5.526		4.60 m³	115.1	0.00	115.1
7	S-3	4723	400	2870			1	5.526		4.61 m³	115.3	0.00	115.3
8	S-4	4723	400	2870			1	5.526		4.62 m³	115.5	0.00	115.5
9	L-1	5940	350			2469	1		6.433	1.92 m³	47.9	0.00	47.9
10	L-1	5940	350			2469	1		6.433	1.92 m³	47.9	0.00	47.9
11	L-1	5940	350			2469	1		6.433	1.92 m³	47.9	0.00	47.9
12	L-1	5940	350			2469	1		6.433	1.92 m³	47.9	0.00	47.9
13	L-2	2900	200			1020	1		3.074	0.59 m³	14.8	0.00	14.8
14	Pintalaatta						1			19.48 m³	487.0	0.00	487.0

Varusteluettelo on myös tehtaan toimintaa helpottava tekijä. Varusteluettelon mukaan pystytään tekemään suoraan tavaratilaukset tai varaukset/poistot suoraan varastosta. Tällä hetkellä kyseiset tiedot otetaan käsin käymällä elementtikuva kerrallaan läpi. Luettelossa tulisi olla saatavilla kaikki varusteet summatasolla, jolloin on mahdollista saada ne siirrettyä suoraan tilaukseen. Nyt jokainen varuste oli omalla rivillään.

Elementtisuunnitelman esitystapaa tulisi vielä muokata luettavampaa muotoon, mutta eroavaisuudet vanhoihin kuviin olivat pienet. Katseluohjelma on myös saatavilla mobiiliversiona tiettyihin merkkeihin. Tämä on lähitulevaisuudessa tuotantoa helpottava tekijä. Teknisten apuvälineiden kehittyessä tasokuvien esitystapa on hyvin rajoittunut kolmiulotteiseen, helposti havainnoitavaan esitystapaan.

Yläpohjan paikallavaluosuuden työmaautojen kuvassa tarvittava tulee esittää raudotteiden kokonaispaino. Tämä on kuljetuksen kannalta tärkeä tieto, koska raudat tulevat irtokappaleina kuormaan. Lisäksi siinäkin samanlaiset raudat tulisi niputtaa, kuten elementtikuvan raudoitustuettelossa.

## 8 OHJEISTUS

Julkaistuissa tietomallintamista käsittelevissä ohjeistuksissa on käsitelty hyvin vähän geotekniikkaa ja kalliorakennesuunnittelua. Maan alaisiin tiloihin liittyvissä rakennesuunnitelmissa kalliorakentamiseen liittyvät tekniset toimintatavat ja suunnittelutoimenpiteet vaikuttavat suuresti myös rakennesuunnitteluun. Tässä ohjeistuksessa käsitellään rakennesuunnittelun mallintamista huomioiden maan alaisten tilojen erityispiirteitä. Lähtökohtana ohjeistuksen laadintaan on käytetty COBIM-kehittämishankkeen tuloksena syntynyt julkaisu Yleiset tietomallivaatimukset 2012.

Tämä ohjeistus on tarkoitettu maan alaisten uudiskohteiden rakennesuunnittelutyön käyttöön. Aluksi ohjeistuksessa käydään läpi konkreettisesti rakennesuunnittelussa mallinnettavat rakennusosat ja mallinnuksen tekniset näkökulmat. Liitteissä 1-3 on taulukoitu mallinnettavat rakennusosat rakennushankkeen eri suunnitteluvaiheissa. Muilta suunnittelutoimialojen tarvittavien lähtötietojen minimivaatimuksia on esitetty taulukossa 4.

Tämän ohjeistuksen tavoitteena on ohjata suunnittelutyötä tehokkaaseen ja tarkoituksen mukaiseen toimintatapaan. Ohjeessa käsitellään tiiviisti mallinnettavien rakennusosien piirtämisen ja niihin syötettävien tietojen tarkkuustasoa. Lähtökohtana on välttää liiallista ajankäyttöä epäoleellisiin ja aikaa vieviin työpanoksiin.

### 8.1 Mallinnettavat rakennusosat

Pääsääntöisesti rakennusosien mallinnustarkkuus kasvaa hankkeen edetessä kohti toteutusta ja rakennuksen ylläpitovaihetta. Rakennusosien mallintamisessa pyritään käyttämään ohjelmiston valmiita rakennusosien mallinnustyökaluja. Esimerkiksi seinä mallinnetaan seinätyökalulla ja laatta laattatyökalulla jne.

Rakennusosakohtaisten työkalujen käyttö kuitenkin on tällä hetkellä varsin haastavaa osalla ohjelmista, kun mallinnetaan kaksoisepäsymmetrisiä, kaarevia tai kahteen suuntaan kallistuvia rakenteita, kuten elementtejä tai reunapalkkirakenteita. Tällöin käytetään ohjelman sovellusominaisuuksia epätavallisissa rakenteissa. Esimerkkinä voidaan käyttää pilottihankkeen elementeissä käytettyä component -menetelmää. Sovellusten käyttö tulee dokumentoida selkeästi tietomalliselostukseen.

#### 8.1.1 Seinä- ja pilarirakenteet

Kaikki kantavat seinä- ja pilarirakenteet mallinnetaan. Tähän sisällytetään paikalla valu-, harkko-, teräs- ja tiilirakenteiset seinä- ja pilarirakenteet. Puurakenteet ovat harvinaisia maan alaisen kohteen lopullisissa rakenteissa. Niiden käyttö on yleistä väliaikaisissa tuki- ja suoja rakenteissa louhintaurakan aikana.



Ei kantavista rakenteista mallinnetaan kaikki betonirakenteet ja seinärakenteet, joilla on merkitystä muiden suunnittelutoimialojen mallinnustoimintaan. Tällaisia ovat mm. mittavesipadot, savusulkuseinämät ja veden ohjausrakenteet.

Seinärakenteiden mallinnustarkkuus rajataan lämmöneristeiden ja palosuojausrakenteiden ja muiden pintarakenteiden esittämiseen, jotka vaikuttavat oleellisesti muiden suunnittelutoimialojen mallintamiseen. Esimerkiksi vedeneristykset tai liikuntasauমানauhojen mallintaminen ei ole suotavaa.

Seinärakenteiden rakennetyypeissä sen sijaan tulee esittää seinärakenne tarkasti ohuet rakennekerroksen mukaan luettuina. Ohjelman seinätyökaluja käytettäessä tällöin tulee mallinnettua natiivimalliin myös ohuet rakennekerrokset, kuten vedeneristykset. Rakennetyypit määritellään projektikohtaisesti rakennesuunnittelijan toimesta ja ne esitetään suunnitelmissa 2D-piirustuksina.

Kaikki mallinnettavat seinä ja pilarirakenteet numeroidaan yksilöllisesti. Numerointi säilyy koko hankkeen läpi. Jos lähtötiedoissa ei ole esitetty rakenneosien numerointia, rakennesuunnittelija numeroi rakennusosat loogisessa järjestyksessä yhteistyössä pääsuunnittelijan kanssa.

### 8.1.2 Laatta- ja palkkirakenteet

Laatta- ja palkkirakenteissa noudatetaan samoja rakennekerros periaatteita kuin seinä- ja pilarirakenteissa. Sama pätee rakenneosien numerointiin. Mallinnus rajataan toimeksiannon mukaisiin määritteisiin. Esimerkiksi tunnelihankkeissa kulkuväylän rakennekerrosten suunnittelu ei kuulu rakennesuunnittelijan toimeksiantoon vaan sen suunnittelu on eriytetty tierakenteiden erikoissuunnittelijalle. Tällöin rakennesuunnittelija suunnitteluraja voidaan määritellä kalliopinnan ja pintarakenteen mallintamiseen. Esimerkiksi kallioparkeissa ja varastotiloissa sen sijaan maarakenteiden suunnittelu lasketaan rakennesuunnittelijan toimeksiantoon. Tällöin maarakennekerrokset mallinnetaan tarkasti määrälaskennan käyttöön.

Palkkirakenteisiin mukaan luetaan myös kuilun yläpään betonirakenteiset kaulusrakenteet, raunapalkit. Reunapalkkien mallinnus on vaivatonta teoreettisessa suunnittelussa. Sen sijaan kun käytössä on toteutuneen louhinnan mukaan mitatut kalliopinnat, palkkityökalujen logiikka ei enää toimi. Tämä asia tulee ottaa huomioon, kun suunnitellaan teoreettisten mittojen mukaan hankkeen alkuvaiheessa. Reunapalkit ja muut puhtaassa kalliokontaktissa olevat rakenteet tulee mallintaa sellaisella työkalulla, että toteutusvaiheen kallion mitatut epätasaisuuden voidaan vaivattomasti viedä rakenteiden malliin. Tällä varautumisella vältetään rakenteiden tuplamallintamiselta eri suunnitteluvaiheiden välillä.

Kalliotiloissa rakenne- ja TATE-suunnitteluun vaikuttaa paljon toimiva yhteiskannatusjärjestelmä. Tällä tarkoitetaan systemaattista kalliokatosta kannateltavaa teräspal-

kistoa, johon voidaan asentaa IV-kanavat, putket ja sähkötekniikka. Yhteiskannakkeet mallinnetaan tarkasti kalliotartuntoineen ja niiden sijoitteluun kiinnitetään erityistä huomiota yhteensovitus vaiheessa.

### 8.1.3 Kuilurakenteet

Kuilurakenteet mallinnetaan kokonaisuutena. Mallinnuksessa pyritään käyttämään seinä- ja laattatyökaluja edellisten ohjeiden mukaisesti. Kuilurakenteiden sisällä olevat rakenteet mallinnetaan seuraavien ohjeiden mukaisesti. Porrasrakenteet pyritään tekemään ohjelman porrastyökaluilla. Kaiteiden mallinnusta ja portaiden pintamateriaaleja ei ole tarkoituksen mukaista mallintaa.

Hissi- ja tekniikka kuilujen osalta mallinnetaan tekniikkakiinnitysten tukirakenteet, kuten konsolit, palkit ja tukitolpat. Tämä edellyttää TATE- ja hissisuunnitelmissa lähtötietojen valmiusaste on toteutusasteella. Myös kuilujen huoltotasot mallinnetaan tarkasti.

Lähtökohtaisesti kuilun sijoituessa rakennuksen sisään maanpäällä mallinnettava osuus ulotetaan suunnittelurajan määräämiin rakenteisiin asti. Tarkka raja määritellään hankekohtaisesti.

### 8.1.4 Raudoitteiden mallinnus

Raudoitteiden ja kalliotartuntojen mallintamiseen pyritään käyttämään ohjelmiston valmiita raudoitustyökaluja. Myös valmistajien valmisosaraudoitteiden objektien käyttö on suotavaa. Raudoiteryhmien mallintamisessa tulee huomioida se, että teoreettisen ja toteutuneen kalliopinnan mukainen raudoitteiden muokkaus tulee olla vaivatonta.

Yksi kalliotilojen mallintamisen haasteista liittyy kaarevien ja epätasaisten betonirakenteiden mallintamiseen. Useimmat nykyään käytössä olevien mallinnusohjelmien automaattisista raudoitustyökaluista eivät havaitse epätasaisia tai kaarevia muotoja. Tämä ongelma on ratkaistavassa raudoiteryhmien jakamisella ja mallinnustoleranssien hyväksyttävillä ylityksillä.

Jos ohjelman raudoitetyökalu ei havaitse kaarevan tai kaltevan rakenteen muotoa, jaetaan raudoiteryhmä pienempiin kokonaisuuksiin. Ryhmän koko pyritään rajoittamaan oletettuihin työsaumojen välisiin kokonaisuuksiin. Tämä toimenpide aiheuttaa raudoiteluettelon kasvamista. Mahdollinen raudoiteryhmien jakaminen tulee merkitä selkeästi tietomalliselostukseen.

Edellä mainitun ohjeistuksen myötä mallin tarkkoja suojabetonietäisyyksiä ei ole

mahdollista mallintaa. Tämä tieto viedään mallia käyttävien urakoitsijoiden tietoon rakennesuunnittelijan toimesta merkitsemällä suojabetonietäisyyden epätarkkuudesta tietomalliselostukseen. Suunnitteluohjelmaa valittaessa tulee kuitenkin ensisijaisesti pyrkiä siihen, että ohjelman raudoitustyökalut huomioivat betonirakenteen epätasaiset muodot.

#### 8.1.5 Kallioprofiilin mallinnus

Kalliomassa ja sen pinnalla olevan ruiskubetonirakenteen mallinnus kuuluu yleisesti kalliorakennesuunnittelijan tehtäviin. Jos hankekohtaisesti sovitaan, että rakennesuunnittelija mallintaa ruiskubetonirakenteita, siihen sovelletaan seuraavia ohjeita. Kallio-  
profiilin pystysuorat osuudet tunnelin pohjasta profiilin kainaloon pyritään mallintamaan seinätyökaluilla. Profiilin kainalo-osuuden alkaessa ruiskubetonirakenne pyritään mallintamaan ohjelman laattatyökaluilla.

On myös mahdollista mallintaa ruiskubetonirakenne yhtenäisenä massana. Tällöin tulee varmistaa, ettei mallinnusohjelmiston esitystavassa tule ristiriitoja profiilin epäjatkuvuuskohdissa, kuten risteyksissä tai profiilityypin vaihtalueella. Ruiskubetonirakenteen rakennetyypissä tulee esittää vähintään ruiskubetonin lujuusluokka, käytettävien kuitujen määrä sekä paksuustiedot. Lisäksi ruiskubetonisalaajat ja mahdolliset huoltotoimiin liittyvät rakenteet tulee mallintaa tarkasti.

#### 8.1.6 Läpiviennit ja reikäsuunnitelmat

Tietomallipohjaisia läpivientiohteja tulee käyttää aina kun niitä on saatavilla käytettävissä ohjelmassa. Valmistajakohtaisia läpivientiosien ohteja tulee tulevaisuudessa suunnittelijoiden käyttöön siinä laajuudessa kuin betonirakenteiden tartuntaosia on saatavalla tällä hetkellä. Jos tiettyjen läpivientiosien käyttö on tiheää, suunnittelija voi tehdä niistä mallinnusohjelmakohtaisen objektikirjaston mallinnustyötä tehostamaan. Esimerkkinä voidaan pitää väestönsuojien kaas- ja paineseinien yleisimpiä läpivientejä.

Reikäsuunnitelmissa noudatetaan kiertojärjestelmää, joka on julkaistu YTV 2012 osassa 5. TATE-suunnittelija välittää rakennesuunnittelijalle IFC-pohjaisen varausmallin. Siinä TATE-suunnittelija esittää varausobjektin avulla reiän tarkan sijainnin seinissä, laatoissa ja mahdollisesti palkeissa. Objektiin suunnittelija liittää attribuuttitietona varauksen tunnisteen ja kenen varaama objekti on. Saatuaan varausmallin rakennesuunnittelija tarkastelee läpivientien toteutuskelpoisuuden ja tarvittaessa välittää TATE-suunnittelijalle varauksen siirto tarpeesta, jos varauksen sijainti on toteutuskelvoton. TATE-suunnittelija siirtää tällöin varauksen uuteen rakenteellisesti hyväksyttävään kohtaan. Rakennesuunnittelija voi myös ehdottaa varauksen siirtoa, jos siirtotarve on pieni.

Varausmallin kiertojärjestys tulee sopia hankkeen alkuvaiheessa heti kun suunnitteli-jaosapuolet ovat selvillä. Suunnittelijoiden käyttämien ohjelmien yhteensopivuus tulee tarkastaa ennen varausmallin tekoa. Varausmallin kierrettyä kaikki suunnittelutoimialat, rakennesuunnittelija toimittaa varausmallin pohjalta tehdyt varaus- ja reikäsuunnitelmat jakeluun.

## 8.2 Toimintatavat ja laadunvarmistus

Oikeaoppisten toimintatapojen pohjalta tietomallinnus voidaan suorittaa laadukkaasti läpi hankkeen. Laadunvarmistuksessa suurta osaa näyttelee hankkeen projektijohto, jonka tehtävänä on muun muassa organisoida, vaiheistaa, aikatauluttaa ja koordinoida tietomallipohjaista suunnittelua. On suositeltavaa, että hankkeen alussa rakennuttaja nimeää erillisen tietomallikoordinaattorin. Rakennesuunnittelun tietomallintamisen vastuuhenkilö on tiiviissä yhteydessä koordinaattoriin, joka osaltaan ohjaa ja valvoo rakennesuunnittelun tietomallintamisprosessia sekä huolehtii suunnitteluvaiheiden lähtötietojen saatavuudesta. Taulukossa 4 on esitetty rakennesuunnitteluun tarvittavat lähtötietotarpeet suunnitteluvaiheittain. Toimintatapojen osalta tietomallintamisessa suunnittelijan tulee kiinnittää huomiota erityisesti koordinaatiston määrittelyyn ja mallinnettavien rakennusosien selkeään nimeämiseen ja selkeään rakennusosien jakamiseen, jotta määrälaskennassa tehtävät tulkinnot ovat ristiriidattomia.

Taulukko 4. Mallintamiseen liittyvät lähtötiedot maan alaiseen rakennesuunnitteluun vaihekohtaisesti

Toimiala	Tarvittavat lähtötiedot yleissuunnitteluvaiheeseen ja tietojen yleiskuvaus.
ARK:	Arkkitehdin ehdotussuunnittelutasossa oleva tilamalli, joka sisältää tiedot mm. pinta-aloista, tilavuuksista ja tilan määritelmistä (tunnisteet)
GEO:	Tutkimustiedot maakerrosten-, kallion-, kaivantojen- ja louhintojen pinnat. Ei erillistä tietomallia.
KAT:	Teoreettiset louhintalinjat, profiilit ja urat. Louhintapaalujen sijainti tiedot. Suojattavat tilat ja rakenteet. Mallin teko sovitaan hankekohtaisesti.
TATE:	Taloteknisen tilavaraukset ja huoltotoimenpiteisiin liittyvät tilatarpeet. Vaiheen tietomallin teko sovitaan hankekohtaisesti.
	Lisäksi tiedot olemassa olevista rakenteista, jotka liittyvät tehtäviin rakenteisiin
Toimiala	Tarvittavat lähtötiedot hankintoja palvelevaan suunnitteluun ja tietojen yleiskuvaus.
ARK:	Yleissuunnitteluvaiheen rakennusosamalli. Seinä- ja laattatyytit. Rakenteiden pinnoitetiedot. Kuilujen sisustusrakenteet ja aukotukset.
KAT:	Louhintaurakan aikana tulleet muutokset linjoihin, profiileihin ja uriin.
TATE:	Taloteknisen suunnittelun IFC-malli (tekniikan ulkomitat), varaus- ja reikä tiedot, tekniikan kuormitustiedot.
Toimiala	Tarvittavat lähtötiedot toteutussuunnitteluun ja tietojen yleiskuvaus.
ARK:	Tarkennettu ja yhteensovitettu rakennusosamalli, detaljitietoa.
KAT:	Toteutuneet louhintalinjat, profiilit, urat, heikkousvyöhykkeet ja ruiskubetonisalojen sijainnit. 3D-skannaustieto jos mahdollista.
TATE:	TATE IFC-malli, tarkennettu varausmalli. Kanavissa ja putkissa esitetty eristepaksuudet, kannakointien ja huoltoluukkujen sijainnit.

Peruslähtökohta koordinaatiston määrittelyssä on varmistaa, ettei tiedoston koko kasva liian suureksi. Jos esimerkiksi tietomalli sijaitsee kaukana koordinaatiston origosta

tietomallin tiedosto kasvaa yleensä suureksi, jolloin sen käsitteleminen vaikeutuu huomattavasti. Tällaista voi tapahtua jos käytetään esimerkiksi suoraan toteutettavan kohteen kunnan koordinaatistoa. Selkeä toimintatapa koordinaatiston määrittelyyn on sitoa projektikohtainen koordinaatisto valtakunnalliseen koordinaatistoon kolmen vastinpisteen avulla. Vastinpisteiden koordinaatit ja niitä vastaavat valtakunnalliset koordinaatit dokumentoidaan selkeästi projektin lähtötietoihin. Korkeussuunnassa on suositeltavaa käyttää todellista korkeusasemaa. Tulee muistaa koordinaattien ja korkeusasemien tiedot tulee olla oikeat arkkitehdin tietomallissa, joka on viety pitkälle siinä vaiheessa kun aletaan tehdä rakennemallia.

Laadunvarmistuksen kannalta on tärkeää tarkistaa tehty malli aika ajoin. Tarkistettavat ajankohdat sovitaan projektikohtaisesti koordinaattorin toimesta. Suunnittelijan tulee kuitenkin tarkistaa rakennemallia oma-aloitteisesti. Suositeltavat ajankohdat ovat ennen hankkeen vaihekohtaisia suunnittelukokouksia. Rakennesuunnittelijan tulee kiinnittää huomiota ristiriidattomuuteen arkkitehtimallin kanssa ja mahdollisen kalliorakennemallin kanssa. Tarkastuksessa käydään läpi kantavat rakenteet ja niissä olevat aukotukset sekä kalliotilojen paalujen ja profiilien linjat. TATE-mallien kanssa tehdään törmäystarkastelu, jos se on hankkeessa mahdollista. Tarkastusta tehdään visuaalisesti ja mallien yhdistetyissä mallissa. Jos yhdistetyn mallin tarkastelussa ei voida käyttää ohjelmistoperheiden natiivimalleja suoritetaan tarkastelu käyttäen IFC-mallia.

Rakennelaskelmissa pyritään hyödyntämään rakennemallia erityisesti FEM-laskennassa. Ohjelmistojen tiedonsiirron yhteensopivuus tulee luonnollisesti tarkistaa ennen suunnittelutyön laajamittaista suunnittelutyötä. Markkinoilla on ohjelmistoja, joissa tiedonsiirtoon on panostettu jo natiivimallien toimintojen kautta. Yleisimmillä rakennelaskentaohjelmilla voidaan hyödyntää rakennemallin IFC-tiedostoa, jos käytettävillä ohjelmilla ei ole erillistä linkkiä keskenään.

### 8.2.1 Suositeltavat toimintatavat määrälaskennan kannalta

Määrälaskennan kannalta rakennusosien nimeämisessä ja tunnisteen esitystavassa on selkeää käyttää projektin alussa sovittua nimikkeistöä, esimerkiksi TALO2000 hankenimikkeistöä. Rakennusosien mittatarkkuutena voidaan pitää millimetriä. Tosin pitää muistaa, ettei hankesuunnitteluvaiheessa mittatarkkuus ei ole oleellinen asia. Rakennusosien mallinnustarkkuus kasvaa mentäessä kohti urakan toteutusvaihetta.

Määrälaskentaa ja rakennusosien osakokonaisuuksien hallinnan kannalta tietomalli voidaan jakaa osiin. Yleensä kalliotiloissa olevat rakenteet ovat melko suuria ja jakosat ovat selkeitä maan päällisiin rakennuksiin verrattuna. Tunnelihankkeissa jakaminen voidaan tehdä esimerkiksi kalliotunneleiden, betonitunnelien sekä kuilujen välillä. Toisin sanoen jako voidaan tehdä kalliolouhinta-, avolouhinta- ja pystysuuntaisten louhintaosuuksien välillä. Pysäköintihalleissa, varastotiloissa tai näitä vastaavissa tiloissa jako voidaan tehdä esimerkiksi kerrosten, kuilujen, väestönsuojien ja ajotunneleiden välillä.

Havainnollistavat kolmiulotteiset kuvat osaltaan selkeyttävät rakenneosien tarkastelua niin määrälaskennan kuin asentavan urakoitsijaosapuolen kannalta. Rakennesuunnittelussa havainnollistavat kuvat voidaan tehdä esimerkiksi detaljitasossa palkin ja pilarin liitoksesta tai suurempana kokonaisuutena esimerkiksi kehärakenteesta.

## 9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tietomallipohjainen rakennesuunnittelu hakee vielä muotoaan. Pilottihankkeiden ja niiden pohjalta tehtävien ohjeistusten kautta suunnitteluorganisaatio ja muut osapuolet löytävät tehokkaita toimitapoja. Tietomallintaminen, joka kohdistuu maan alaisiin rakennushankkeisiin vaatii toimiakseen lisää pilottihankkeita, joissa vaikuttaa useita hankkeeseen sitoutuneita osapuolia. Erityisesti urakoitsijan näkemykset tietomallin hyödyntämisestä kalliotiloja koskevissa rakennushakkeista saadaan käytännön kokeilujen kautta. Myös kalliorakennesuunnittelijoiden sisään ajo tietomallipohjaiseen suunnitteluun tulee aiheelliseksi tulevaisuudessa. Tilaaajan vaatimukset tietomallintamisesta ajaa suunnittelijaosapuolet ja urakoitsijan panostamaan järjestelmien ja ohjeistusten jatkokehittämiseen.

Maan päällisten rakenteiden tietomallintamiseen tarkoitettujen ohjelmistojen tulee osaltaan kehittyä. Maan alaisten tilojen rakenteiden muodot ovat pahimmillaan sellaisia, ettei nykyisillä ohjelmistoilla päästä tehokkaaseen tietomallipohjaiseen suunnittelutyöhön. Kaarevien ja kaltevien pintojen muodot ovat mahdollista tehdä, mutta niiden mallintamiseen kulutettava aika ei täytä tehokkaan ja tarkoituksen mukaisen suunnittelutyön merkkejä. Kalliotilojen 3D-skannaus tulee tulevaisuudessa näyttelämään suurta osaa maan alaisten rakennushankkeiden tietomallipohjaista suunnittelutyötä. Skannauksesta saatavien pintamallien kehitystyötä pitää jatkaa ohjelmistovalmistajien toimesta. Pintamallien raakatiedostojen käsittely suoraa tietomalliohjelmassa on toivottava lopputulos, johon nykyaikaisilla ohjelmistoilla vielä päästä.

Tämän opinnäytetyön yhteydessä tehdyn pilottihankkeen perusteella saatiin lisätietoa suunnittelukäytäntöjen ja elementtituotannon yhteensovittamisesta ja tehostamisesta. Pilottihankkeen perustella voidaan perustellusti todeta, että tietomallipohjaisen suunnittelutyön kautta saadaan tuotantoa tehostavia tuloksia ilman suhteettoman suuria riskejä. Lisäksi tietomallintamisen kautta saatavat havainnollistavat kuvat auttavat osapuolia esittelemään tuotteet paremmin asiakkaille ja uudelle henkilökunnalle. Elementtirakenteita sisältäviä hankkeita ajatellen suunnittelukäytäntöä on edelleen kehitettävä ja kouluttaa niin suunnitteluorganisaation kuin tehtaan henkilökuntaa kilpailukykyisemmän lopputuotteen aikaan saamiseksi.

Elementeissä käytettävien valmisosien valmistajien kanssa on tehtävä tiivistä yhteistyötä ohjelmistokehittäjien ja suunnittelijoiden ja elementti valmistajien toimesta. Pilottihankkeen elementtien suunnittelutyössä havaittiin, että valmiiden tuotekohtaisten objektien käyttö tietomallissa on hyvin tehokasta kaikkien osapuolten kannalta. Objektien saatavuus on kehitettävä sille tasolle, että niiden hankkiminen on vaivatonta.

Opinnäytetyössä esitetty rakennesuunnittelun mallinnusohjeistus maan alaisiin tiloihin on tarkoitettu täydentämään ja tarkentamaan nykyisiä ohjeita. Lisäksi ohjeistuksella pyritään luomaan uusia näkökulmia suunnitteluorganisaation osapuolille. Tulevaisuuden toteutettavissa kohteiden kautta ohjeistus muovaantuu toimivaksi osaksi tietomallipohjaista suunnittelutyötä. Hankkeen urakoiden limittyminen osaltaan tuo oman lisähaasteen tietomallintamiseen. Suurissa kalliotiloja käsittävissä hankkeissa louhinta- ja runkourakan limittyminen on yleistä. Ohjeistusta tulee jatkokehittää niin, että kalliorakennesuunnittelun, geotekniikan ja pohjarakennesuunnittelun näkökulmat ja toimintatavat ovat huomioitu.

## LÄHTEET

Building Smart, Yleiset tietomallivaatimukset 2012 osat 1-13, Verkkodokumentti  
<<http://buildingsmart.fi/8>> Luettu 13.4.2012

Jääskeläinen, Paavo, Kallioinjektioinnin suunnittelun systematisointi, Diplomityö  
Teknillinen korkeakoulu, 2007

Kalliosuunnittelu Oy Rockplan Ltd, Instakon Oy, Väestönsuojien tekninen opas osa 1,  
kalliosuojien suunnittelu- ja rakentamisopas, Maanalaisten tilojen  
rakentamisyhdistys Ry, Espoo 2008

Kalliosuunnittelu Oy Rockplan Ltd, Instakon Oy, Väestönsuojien tekninen opas osa 2,  
S3 luokan teräsbetonisuojaan suunnittelu ja rakentamisopas, Maanalaisten tilojen  
rakentamisyhdistys Ry, Espoo 2008

Liimatainen, Aki, Rakennusten 3D-mittaus ja pistepilvien prosessointi  
jatkosuunnittelua varten, Opinnäytetyö, Savonia 2010

Nordic Geo Center Oy, 3D-laserskannaus: käytännön ohjeita, julkaistu 24.5.2011,  
Verkkodokumentti <<http://www.geocenter.fi/?p=290>> Luettu 14.3.2012

Piitulainen, Mikko, S1- ja K-luokan väestönsuojat 2009 suunnittelu ja rakentaminen,  
Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö, Savion kirjapaino Oy 2009

Ritola, Jouko & Rönkä, Kimmo, Kalliorakentamisen neljäs aalto, Maanalaiste tilojen  
rakentamisyhdistys r.y., Valtion teknillinen tutkimuskeskus yhdyskuntatekniikka,  
WSOY Porvoo 1997

RT 16-10768 Urakkamuodot ja asiakirjat, RT-kortisto

Senaatti-kiinteistöt, Tietomallivaatimukset 2007 Mallipohjaiset tiedot suunnittelu- ja  
rakentamisprosessin eri vaiheissa, Verkkodokumentti  
<[http://www.senaatti.fi/tiedostot/Mallipohjainen\\_prosessi\\_v1\\_17092007.pdf](http://www.senaatti.fi/tiedostot/Mallipohjainen_prosessi_v1_17092007.pdf)> Luettu  
19.2.2012

Vakkinainen, Jussi. 2009. Rakennuksen tietomalli rakennushankkeen suunnitteluväli-  
neenä. Diplomityö. Arkkitehtuurin koulutusohjelma. Tampereen tekninen yliopisto.



## YLEISSUUNNITTELUVAIHEEN MALLINNETTAVAT RAKENNEOSAT

Yleissuunnittelu		
Rakennekokonaisuus	Mallinnettavat rakenneosat	Ohje
Kuilurakenteet	Reunapalkit, juuripalkit ja anturarakenteet	Teoreettisen kallio-pinnan mukaan.
	Kantavat seinärakenteet sekä ei kantavat tb-seinärakenteet	
	Portaat ja lepotasot	
	Alapohjat	
Tunnelirakenteet	Antura, ja tukirakenteet	Teoreettisen kallio-pinnan mukaan.
	Kantavat seinärakenteet sekä ei kantavat tb-seinärakenteet	Törmäyselementit
	Urat ja kanaalit	Teoreettisen kallio-pinnan mukaan.
	Sisäverhousrakenteet	Mallinnetaan perusgeometria.
	Ylä-, väli- ja alapohjarakenteet	
	Portaat ja lepotasot	Ei kaiteita.
	Kallio- ja betonitunnelin suuaukkorakenteet	Massiiviset rakenteet, ei aitoja
Varasto- ja pysäköintihallit	Anturarakenteet	
	Kantavat seinärakenteet sekä ei kantavat tb-seinärakenteet	Teoreettisen kallio-pinnan mukaan.
	Ylä-, väli- ja alapohjarakenteet	Teoreettisen kallio-pinnan mukaan.
	Portaat ja lepotasot	
	Palkit	
	Pilarit	



## HANKINTOJA PALVELEVAN SUUNNITTELUVAIHEEN MALLINNETTAVAT RAKENNEOSAT

Hankintoja palveleva suunnittelu		
Rakennekokonaisuus	Mallinnettavat rakenneosat	Ohje
Kuilurakenteet	Reunapalkit, juuripalkit ja anturarakenteet	Toteutuneen kalliopinnan mukaan.
	Kantavat seinärakenteet sekä ei kantavat tb-seinärakenteet	Myös raudoitteet ja liikuntasaumot.
	Portaat ja lepotasot	
	Alapohjat	Myös raudoitteet ja tartunnat.
	Lämmöneristeet	
	Huoltotasot	
	Kalliotartunnat	
Tunnelirakenteet	Antura, ja tukirakenteet	Teoreettisen kalliopinnan mukaan.
	Kantavat seinärakenteet sekä ei kantavat tb-seinärakenteet	Myös raudoitteet ja liikuntasaumot.
	Urat ja kanaalit	Toteutuneen kalliopinnan mukaan.
	Sisäverhousrakenteet	Mallinnetaan kerrokset ja esitetään tartunnat
	Ylä-, väli- ja alapohjarakenteet	Myös raudoitteet ja liikuntasaumot.
	Portaat ja lepotasot	Ei kaiteita.
	Kallio- ja betonitunnelin suuaukkorakenteet	Massiiviset rakenteet, aidat ja suojarakenteet
	Lämmöneristeet	
	Kalliotartunnat ja yhteiskannattimet	
	Sala-ojat	
Varasto- ja pysäköintihallit	Anturarakenteet	Toteutuneen kalliopinnan mukaan, myös raudoitteet.
	Kantavat seinärakenteet sekä ei kantavat tb-seinärakenteet	Toteutuneen kalliopinnan mukaan, myös raudoitteet.
	Ylä-, väli- ja alapohjarakenteet	Myös liikuntasauharakenteet
	Portaat ja lepotasot	Myös raudoitukset.
	Palkit	Myös raudoitteet ja liikuntasaumot.
	Pilarit	Myös raudoitteet ja liikuntasaumot.
	Urat ja kanaalit	Toteutuneen kalliopinnan mukaan.
	Sala-ojat	

## TOTEUTUSSUUNNITTELUVAIHEEN MALLINNETTAVAT RAKENNEOSAT

Toteutussuunnittelu		
Rakennekokonaisuus	Mallinnettavat rakenneosat	Ohje
		Yleisesti: detaljviittaukset ja urakoitsijakohtaiset rakenneratkaisut viety malliin.
Kuilurakenteet	Reunapalkit, juuripalkit ja anturarakenteet	Toteutuneen kalliopinnan mukaan.
	Kantavat seinärakenteet sekä ei kantavat tb-seinärakenteet	Myös raudoitteet ja liikuntasaumot.
	Portaat ja lepotasot	
	Alapohjat	Myös raudoitteet ja tartunnat.
	Lämmöneristeet	
	Huoltotasot	
	Kalliotartunnat	
	RB sala-ojat	Suunnittelurajan mukaisesti.
Tunnelirakenteet	Antura, ja tukirakenteet	Teoreettisen kalliopinnan mukaan.
	Kantavat seinärakenteet sekä ei kantavat tb-seinärakenteet	Reikätiidot viety malliin.
	Urat ja kanaalit	Toteutuneen kalliopinnan mukaan. Läpiviennit esitetty.
	Sisäverhousrakenteet	Huoltoluukut viety malliin.
	Ylä-, väli- ja alapohjarakenteet	Reikätiidot viety rakenteeseen. Liikuntasaumot ja kallistukset esitetty.
	Portaat ja lepotasot	Myös raudoitukset.
	Kallio- ja betonitunnelin suuaukkoarakenteet	Massiiviset rakenteet, aidat ja suojarakenteet.
	Lämmöneristeet	
	Kalliotartunnat ja yhteiskannattimet	
	RB sala-ojat	Suunnittelurajan mukaisesti.
Varasto- ja pysäköintihallit	Anturarakenteet	Toteutuneen kalliopinnan mukaan, myös raudoitteet.
	Kantavat seinärakenteet sekä ei kantavat tb-seinärakenteet	Reikätiidot viety malliin.
	Ylä-, väli- ja alapohjarakenteet	Kallistukset esitetty.
	Portaat ja lepotasot	Myös raudoitukset esitetty.
	Palkit	Reikätiidot viety malliin.
	Pilarit	Myös raudoitteet ja liikuntasaumot.
	Urat ja kanaalit	Toteutuneen kalliopinnan mukaan.
	RB sala-ojat	Suunnittelurajan mukaisesti.